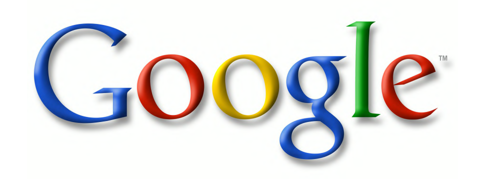
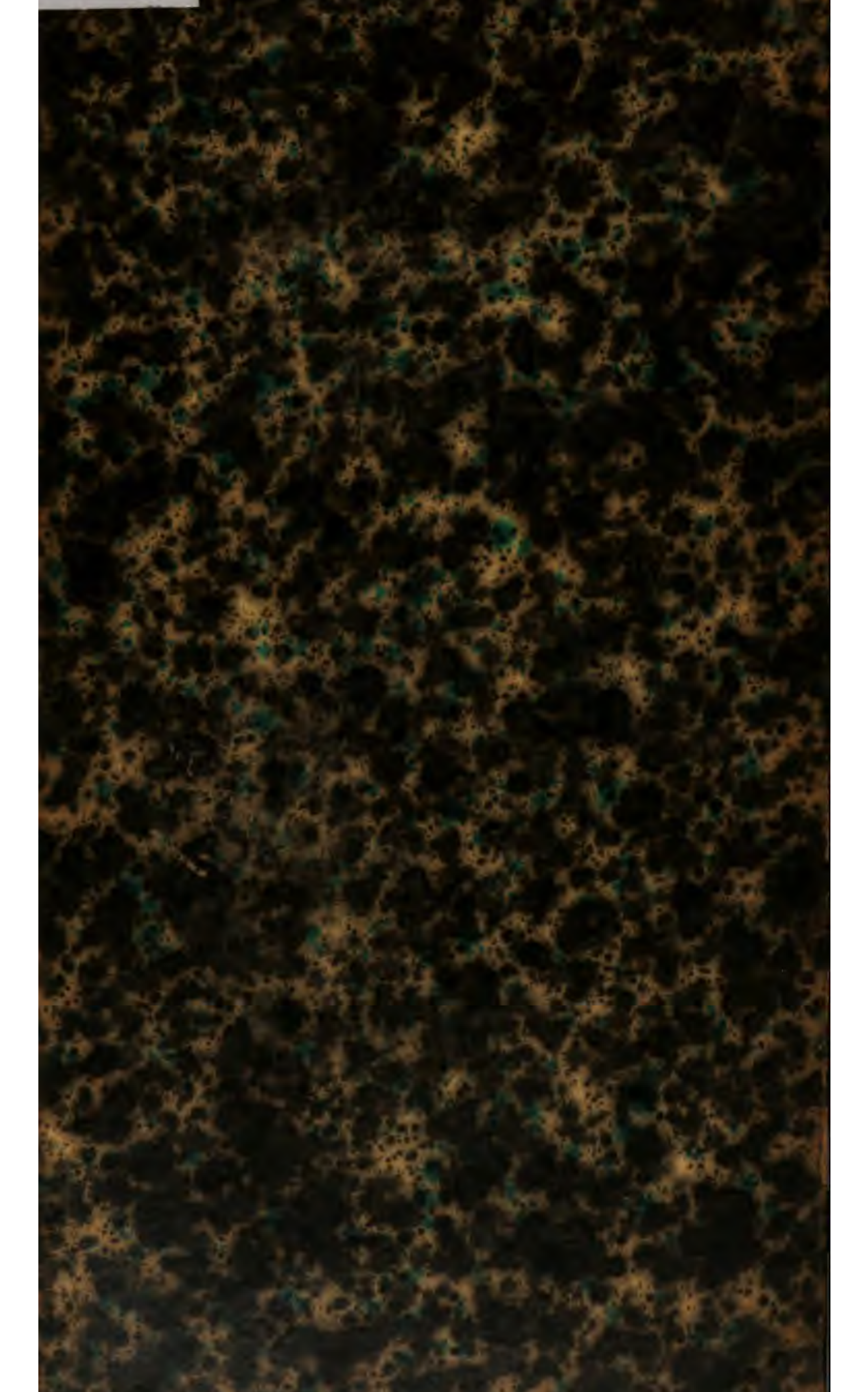






ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

Paris. — Imp. de P.-A. BOURDIER, CAPIOMONT fils et Cie, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860.

ANNÉE 1868

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

26, RUE BUFFAULT, 26

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

QUAI MALAQUAIS, 15

1868

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1868)

N° 1

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° Installation des membres du bureau et du comité (séance du 10 janvier, page 38).

2° *Générateurs à vapeur*, par M. Belleville (séances des 24 janvier et 7 février, pages 67 et 81).

3° *Antiincrustateur magnétique*, par M. Ball (séance du 7 février, page 74).

4° *Chaudière Field*, par M. Ball (séance du 7 février, page 75).

5° *Fabrication du papier*, par M. Charles Martin (séance du 21 février, page 83).

6° *Conservation des blés*, par MM. Coignet et Rouyer (séances des 21 février et 6 mars, pages 89 et 92).

7° *Accident occasionné par le vent sur le chemin de fer du Midi*, par M. Nordling (séance du 6 mars, page 92).

8° *Mines d'or et d'argent des Montagnes Rocheuses*, par M. Simonin (séance du 6 mars, page 95).

9° *Calcul des moments de flexion maxima dans les ponts droits.*

Lettre de M. Renaudot, ingénieur des ponts et chaussées (séance du 20 mars, page 98).

10° *Chemins de fer d'intérêt local*, par M. Richard et par MM. Molinos et Pronnier (séance du 20 mars, page 101).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire du troisième volume de son *Traité pratique de l'Entretien et de l'Exploitation des chemins de fer*.

2° De l'Institution des ingénieurs civils de Londres, un exemplaire de son bulletin, session de 1866 et 1867.

3° De M. Albaret (Eugène), membre de la Société, une note en réponse aux observations de M. de Dion, présentées dans la séance du 22 novembre dernier, sur le *Calcul des moments de flexion maxima dans les ponts droits*.

4° De M. Eiffel, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur les *Épreuves des arcs métalliques de la galerie des machines à l'Exposition universelle*.

5° De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur la *Nécessité de transporter l'Observatoire impérial hors Paris*.

6° De M. Simon, chef de section au chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, un exemplaire d'une notice sur le *Niveau parallèle, ou description d'un niveau à bulle d'air simplifié et perfectionné*.

7° De M. Brabant, chef de service aux chemins de fer de l'Est, un exemplaire d'une note sur la *Propriété du lit des cours d'eau naturels, fleuves et rivières navigables, flottables ou non, et ruisseaux*.

8° De M. Laurent (Charles), membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur les travaux de sondage à l'Exposition universelle*.

9° Un exemplaire d'une *Notice biographique sur M. Benoît Fourneyron*, par M. Jules Guillemin.

10° De M. Bonnataire, membre de la Société, un exemplaire d'un *Projet d'alimentation d'eau de la ville de Soissons par les sources de la montagne Sainte-Geneviève*.

11° De M. Schwœblé, membre de la Société, un exemplaire de l'*Annuaire scientifique*, et un exemplaire de *deux Notices sur l'emploi des fers.*

12° Un exemplaire du *Programme des concours ouverts par la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts, de Lille, pour l'année* 1868.

13° Un exemplaire du *Procès-verbal d'expériences de tir à outrance avec des canons en acier fondu, de M. Friedrich Krupp.*

14° De M. Taillard, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage, avec atlas, sur les *Locomotives et le matériel de transport à l'Exposition universelle de* 1867.

15° De M. Stilmant, membre de la Société, des exemplaires des *planches représentant ses différents systèmes de freins.*

16° De M. Urbain, membre de la Société, un exemplaire d'un Mémoire sur les *Moyens de conserver les grains et les graines en magasin.*

17° De M. Cialdi, membre de la Société, un exemplaire d'une *Lettre adressée à M. Ferdinand de Lesseps sur les môles de Port-Saïd.*

18° Le tome IX des *Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand.*

19° De M. Richard, membre de la Société, une *Notice nécrologique sur M. de Planhol.*

20° De M. Baudouin, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur *l'Instruction, ce qu'elle est, ce qu'elle devrait être.*

21° De M. Hangard, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur la manutention et les appareils de levage à l'Exposition.*

22° De M. Grateau, ingénieur, un exemplaire de son *Rapport sur les instruments de mathématiques à l'Exposition.*

23° De M. Peligot (Henri), membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur les lampes servant à l'éclairage au moyen des huiles animales, végétales ou minérales à l'Exposition.*

24° De M. Gruner, inspecteur général des mines, un exemplaire de sa brochure sur la *Fabrication de l'acier.*

25° De M. George Glover, un exemplaire de son Mémoire sur le *Mesurage exact du gaz.*

26° Un exemplaire du *Compte rendu des opérations des chemins de fer de l'État belge en* 1866.

27° De M. Alcan, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur les arts textiles à l'Exposition.*

28° De M. Malo (Léon), membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé *Visites à l'Exposition universelle.*

29° De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de sa réponse à la communication faite par M. Le Verrier à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 6 janvier 1868, et un exemplaire des discours prononcés par M. le général Morin, par M. Bertrand et par M. Yvon Villarceau, sur la tombe de M. Léon Foucault.

30° De M. Laurent (Auguste), un exemplaire de son ouvrage sur l'*Histoire des baromètres et manomètres anéroïdes.*

31° De M. Flachat (Eugène), un exemplaire de son *Exposé économique sur la voie et le matériel de la voie des chemins de fer à l'Exposition.*

32° De M. Gillet, un exemplaire de sa brochure sur la *Carbonisation du bois et la métallurgie du fer.*

33° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du premier trimestre 1868.

34° De la revue *la Presse scientifique*, les numéros du premier trimestre 1868.

35° De la revue *les Mondes*, les numéros du premier trimestre 1868.

36° Du journal *The Engineer*, les numéros du premier trimestre 1868.

37° Du bulletin de la *Société d'encouragement*, les numéros du premier trimestre 1868.

38° Du bulletin de la *Société de géographie*, les numéros du premier trimestre 1868.

39° Du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture*, les numéros du quatrième trimestre 1867.

40° Du journal *l'Invention*, les numéros du premier trimestre 1868.

41° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du premier trimestre 1868.

42° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du premier trimestre 1868.

43° De la *Revue contemporaine*, les numéros du premier trimestre 1868.

44° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du premier trimestre 1868.

45° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du premier trimestre 1868.

46° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du premier trimestre 1868.

47° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du premier trimestre 1868.

48° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du premier trimestre 1868.

49° Du journal *le Cosmos*, les numéros du premier trimestre 1868.

50° Des *Annales des mines*, les numéros du premier semestre 1867.

51° Du *Génie industriel*, les numéros du premier trimestre 1868.

52° Du bulletin de la *Société des Arts et Métiers de Vienne*, les numéros du premier trimestre 1868.

53° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du premier trimestre 1868.

54° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du quatrième trimestre 1867.

55° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du quatrième trimestre 1867.

56° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du premier trimestre 1868.

57° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du premier trimestre 1868.

58° Du *Propagateur des travaux en fer*, les numéros du premier trimestre 1868.

59° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du premier trimestre 1868.

60° De la *Propagation industrielle*, les numéros du premier trimestre 1868.

61° Du journal *Engineering*, les numéros du premier trimestre 1868.

62° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de janvier et février 1868.

63° Du *Comité des forges de France*, le numéro 36 du bulletin.

64° Du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de janvier et février 1868.

65° Du bulletin de l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le troisième numéro de 1867.

66° Du *Journal of Mechanical engineer*, les numéros 4 et 5 de 1867.

67° Du *Bulletin de la Société industrielle de Reims*, les numéros d'octobre et novembre 1867.

68° Des *Publications administratives*, la deuxième livraison de 1868.

69° L'*Annuaire de* 1867 *de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand.*

70° De la *Revue horticole*, les numéros du premier trimestre 1868.

71° De la *Gazette du Village*, les numéros du premier trimestre 1867.

72° Du bulletin de la *Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre*, les numéros 2, 3 et 4 de 1867.

Les Membres admis pendant le 1er trimestre sont :

Au mois de janvier :

MM. Carpi, présenté par MM. Balestrini de Branville et De Dion.
Deprez, présenté par MM. Flachat, Ribail et Petiet.
Elwell, présenté par MM. Callon, Elwell et Flachat.
D'Eichthal, présenté par MM. Fèvre, Flachat et Gouin.
Gauthier, présenté par MM. Guillaume, Lippmann et Péligot.
Goldschmidt, présenté par MM. Flachat, Moreau et Homburger.
Hangard, présenté par MM. Alcan, Flachat et Tresca.
Lepainteur, présenté par MM. Flachat, Geyler et Huet.
Pajot, présenté par MM. Boivin, Giffard et Loiseau.
Pichault, présenté par MM. Brialemont, Flachat et Thomas.

SCHWŒBLÉ, présenté par MM. Barrault, Boutmy et Brüll.
TAILLARD, présenté par MM. Desprès, Laurens et Thomas.
VIEILLARD, présenté par MM. Flachat, Maldant et Tresca.

Au mois de février :

MM. HALLEY, présenté par MM. Ameline, Benoît Duportail et Leclerc.
STOCLET, présenté par MM. Despret, Michel et Urbain.

Au mois de mars :

MM. BATAILLE, présenté par MM. Guérin de Litteau, Pereire (E.) et Poncelet.
DUMONT, présenté par MM. Desnos, Michelet et Ser.
QUESNOT, présenté par MM. Boutmy, Leconte et Marié.
SCHMOLL, présenté par MM. Badois, Castor et Loustau.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1868

Membres du Bureau.

Président :

M. Love ✱, rue Taitbout, 57.

Vice-Présidents :

MM. Callon (Ch.), ✱, rue de Birague, 16.
Vuillemin (Louis), ✱ O. ✱ ✱, rue Réaumur, 43.
Mayer (Ernest) ✱, rue d'Amsterdam, 39.
Alcan (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.

Secrétaires :

MM. Tronquoy (Camille), faubourg Saint-Denis, 43.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Regnard (Paul), rue Charlot, 15.
Bobin (Hyppolyte), rue de la Santé, 7.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. Petiet (J.) O. ✱ ✠ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Nordling ✱, boulevard Malesherbes, 87.
Farcot (Joseph) ✱, au port Saint-Ouen.
Yvon-Villarceau ✱ ✱, à l'Observatoire.
Tresca O. ✱ ✠ ✱ ✱, rue Saint-Martin, 292.
Benoit Duportail (Armand-Camille), rue Bénard, 41, à Batignolles.
Chobrzynski ✱, boulevard Magenta, 167.
Goschler, boulevard Saint-Michel, 35.
Thomas (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
Forquenot ✱, rue du Louvre, 6.
Nozo (Alfred) ✱ ✱, boulevard Magenta, 169.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.

MM. Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Guébhard (Alfred) ✱, rue Lafayette, 87.
Muller (Émile) ✱, rue Chabrol, 33.
Salvetat ✱ ✱, à Sèvres (Manufacture impériale).
Laurent (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.
Richard ✱, rue Billault, 41.
Huet, rue Blanche, 95.
Brull, rue de La Rochefoucauld, 58.

Présidents honoraires.

MM. Flachat (Eugène) O. ✱ ✱, rue Moncey, 9.
Morin (le général), G. ✱ ✱ ✱ ✱, directeur du Conservatoire Impérial des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.

Membre honoraire.

M. Bélanger, O. ✱, rue d'Orléans, 15, à Neuilly.

Membres Sociétaires.

MM. Aboilard (François-Auguste-Théodore), directeur de charbonnage, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue de Provence, 60.
Agnès (Antony) ✱, rue Neuve-des-Martyrs, 11.
Agudio (Thomas) ✱, rue de Rivoli, 172.
Aivas (Michel), à Suez (Égypte).
Albaret ✱, constructeur, à Liancourt (Oise).
Albaret (Eugène), rue Legendre, 92 (Batignolles).
Alby (Joseph), à Turin (Piémont).
Alcan (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
Ameline (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.
André (Gaspard-Louis), rue de la Santé, 7.
André (Charles-Henri), à la Sarraz, canton de Vaud (Suisse).
André (Oscar), rue Taitbout, 57.
Andry ✱, à Boussu, près Mons (Belgique).
Ansart (Ernest), à la fonderie de Fontanamare, près Iglisias (Ile de Sardaigne).
Appert (Léon), rue Royale, 6, à la Grande-Villette.

MM. ARBELU (de) José Maria, à Vergara (Espagne).
ARCANGUES (D') (Paul-Eugène) ✻, rue de Dunkerque, 18.
ARMAN (Lucien) ✻, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
ARMAND (Eugène), rue de la Varvarka, 11, à Moscou (Russie).
ARMENGAUD aîné ✻, rue Saint-Sébastien, 45.
ARMENGAUD jeune ✻, boulevard de Strasbourg, 23.
ARNAULT (Marc-Emmanuel), à Saintes (Charente-Inférieure).
ARSON (Alexandre) ✻, Cie du Gaz, Faubourg-Poissonnière, 141.
ARTUS (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.
ASSELIN (Eugène), rue des Poissonniers, 3 (Saint-Denis).
AVRIL (Louis), rue Lamartine, 6.
BADOIS (Edmond), rue de la Tour, 127, à Passy.
BAILLET (Gustave), rue Saint-Ferdinand, 39, aux Ternes.
BALESTRINI, rue de Rivoli, 200.
BALL (Charles), boulevard Magenta, 97.
BANDERALI, rue de Navarin, 16.
BANDHOLTZ (Frédéric), à Jarnac (Charente).
BARA, rue Simonnot, 1, aux Prés-Saint-Gervais.
BARBE (Paul), faubourg Saint-Jean, 7, à Nancy (Meurthe).
BARBEROT (Félix) ✻ ✻, Grande-Rue, 21, à Batignolles.
BARNOYA (Luis), calle Alfaresos, 7, à Valladolid (Espagne).
BARRAULT (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
BARRES-BARRETTO (de) (Manuel), à Pernambuco (Brésil).
BARROUX (Léon), à Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or).
BARTHÉLEMY (Henry), quai Voltaire, 3.
BATTAILLE (Straatman Jean), rue des Croisades, 7, à Bruxelles (Belgique).
BATTAREL (Pierre-Ernest), rue Cambrai, 3, à la Villette.
BAUDET (Louis-Constant-Émile), rue du Rocher, 64.
BAUDOUIN ✻, avenue de Neuilly, 115.
BAUMAL (Henri), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
BAZERQUE (Pierre), à Saintes (Charente-Inférieure).
BEAUCERF ✻, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
BEAUPRÉ (Eugène), à Pont-Rémy (Somme).
BEAUSSOBRE (de) (Georges-Emmanuel), à Strasbourg (Bas-Rhin).
BEHRENS (Ernest-Auguste), rue Vavin, 35.
BÉLANGER (Charles-Eugène), Fuencarral, 2, à Madrid (Espagne).
BELLEVILLE (Julien-François) ✻, avenue Trudaine, 6.
BELLIER (Adolphe), au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
BELPAIRE (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
BENOIT DUPORTAIL (Armand-Camille), rue Bénard, 41, à Batignolles.
BENOIST d'AZY (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
BERGER (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Haut-Rhin).

MM. Bergeron, rue du Grand-Chêne, 8, à Lausanne (Suisse).
Bernard, ingénieur de la voie du chemin de fer du Nord, à Namur (Belgique).
Bertholomey (Eugène), à Chantenay-sur-Loire, près Nantes (Loire-Inférieure).
Berthot (Pierre), à la papeterie du Marais, par la Ferté-Gaucher (Seine-et-Marne).
Berton (Théodore), rue Mademoiselle, 16, à Versailles (S.-et-O.).
Bertrand (Lucien), à Séville (Espagne).
Bertrand (Charles-Pierre), boulevard Beaumarchais, 69.
Beugniot ✱, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi (Henri), C.✱ G.✠, boulevard Malesherbes, 21 bis.
Bianchi, ✱ ✠, rue de Rennes, 154.
Binder (Charles-Jules), boulevard Haussman, 112.
Bippert, rue des Petites-Écuries, 42.
Birlé (Albert), via Carlo-Porta, 1, à Milan (Italie).
Biver (Hector) ✱, rue du Cherche-Midi, 21.
Bixio (Maurice), rue Jacob, 26.
Blaise (Jean-Louis-Emile), rue de Londres, 13.
Blake (David), à Dieppe (Seine-Inférieure).
Blanc-Garin, poste restante, à Thones (Haute-Savoie).
Blanche (Auguste), quai Impérial, 3, à Puteaux.
Blanco (Juan-Maria), à Cabeza del Buey, province de Badajoz (Espagne).
Blanleuil, à Mennecy, par Corbeil (Seine-et-Oise).
Blard (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
Bleynie (Martin), rue de Lyon, 35.
Blonay (de) (Henri), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau (Paul-François), à l'Ardoisière Saint-Gilbert, à Fumay (Ardennes).
Blot (Léon), rue d'Amsterdam, 54.
Blutel, à Troyes (Aube).
Bobin (Hippolyte), rue de la Santé, 7.
Boire (Émile), quai de la Haute-Deule, à Lille (Nord).
Bois (Victor) ✱, boulevard Malesherbes, 69.
Boitard (Charles-Alfred), rue Malatiré, 7, à Rouen (Seine-Inférieure).
Boivin (Émile), rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnaterre (Joseph), rue Gaillon, 11.
Bonnet (Victor), à Beaumont-sur-Oise (Seine-et-Oise).
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Auguste-Félix), rue Servandoni, 23.
Bontemps (Georges), à Saint-Chamond (Loire).

MM. BOREL (Paul) ✻, rue Taitbout, 82.
BORGELLA (Édouard), route Impériale, 44, à Montretout, près Saint-Cloud (Seine-et-Oise).
BOSSI (DE) (Édouard), à Riom (Puy-de-Dôme).
BOSSU, rue Mazagran, 9, à Nancy (Meurthe).
BOUCARD (Alexandre-André), rue de la Paix, 3.
BOUCHOTTE (Émile-Simon), à Metz (Moselle).
BOUDARD (Casimir), à Dangu, par Gisors (Eure).
BOUDARD (Félix-Arthur), rue de la Vallée, 35, à Amiens (Somme).
BOUDÉNT (Ernest-Gabriel), rue Saint-Sauveur, 18.
BOUGÈRE (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
BOUILHET (Henri-Charles) ✻, rue de Bondy, 56.
BOUILLON (Augustin), rue de Chabrol, 33.
BOUISSOU (Amable-Louis), rue Montrosier, 18, à Neuilly.
BOULOGNE (Jules-Ernest), quai de Seine, à Saint-Denis.
BOUQUIÉ, rue Saint-Georges, 43.
BOURCARD (Henri), à Guebwiller (Haut-Rhin).
BOURDON (Eugène) ✻, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
BOURGEAT (Alphonse), à Rochefort-sur-Mer (Charente-Inférieure).
BOURGOUGNON (Étienne), rue de la Victoire, 43.
BOURGOUGNON (René), rue Lemercier, 44 (Batignolles).
BOURSET, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
BOUTMY, rue Rambouillet, 2.
BOUTTÉ (Louis), rue Sainte-Placide, 49.
BRACQUEMONT (DE) (Adrien), boulevard Malesherbes, 19.
BRANVILLE (DE) (Paul), rue Sainte-Placide, 43.
BRAUER (François-Charles), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
BRÉGUET ✻, quai de l'Horloge, 39.
BRIALMONT, aux établ[ts] de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
BRICOGNE (Charles) ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
BRIDEL (Gustave), à Yverdon (Suisse).
BRISSAUD ✻, rue de Rennes, 147.
BROCCHI (Astère), rue de Lyon, 49.
BROCCHI (Auguste), rue Racine, 30.
BRODARD (Marie-Anatole-Octave), rue du Bac, 94.
BRONNE (Joseph), quai de Fragnée, 392, à Liége (Belgique).
BRONNE (Louis), rue Grétry, 28, à Liége (Belgique).
BROUILHET (Émile), directeur de la compagnie Chaufournière de l'Ouest à Saint-Lô (Manche).
BRUÈRE, à Signy-le-Petit (Ardennes).
BRUIGNAC (DUROY DE) (Albert), rue de Provence, 46.
BRUNET (DE), à Saint-Sébastien-Guipuzcoa (Espagne).
BRÜLL, rue de La Rochefoucauld, 58.

MM. Brunier ✻, rue Neuve-Saint-Patrice, 6, à Rouen (Seine-Inférieure).
Brustlein (H.-Aimé), à Almunecar, province de Malaga (Espagne).
Buddicom ✻, rue de Lille, 97.
Bulot (Hippolyte), aux fonderies de Graville (Havre).
Bureau, place de l'Église, 9 (Batignolles).
Burel (Eugène), avenue de la Grande-Armée, 73.
Busschop (Émile), boulevard du Prince-Eugène, 100.
Bussière (de), aux aciéries Barroin et Cie, à Saint-Étienne (Loire).
Cabanes (Felix), à Saint-Ouen (Seine).
Cabany (Armand), à Gand (Belgique).
Cail (Émile), quai de Billy, 52.
Caillé (Jules-Charles), rue Guy-de-la-Brosse, 11.
Caillet ✻, avenue d'Antin, 7.
Caillot-Pinart, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Caisso (Marin), aux ateliers du chemin de fer de l'Ouest, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
Calabre (Sébastien), rue Affre, 2, à la Chapelle.
Calla ✻, rue des Marronniers, 8, à Passy.
Calleja (Joseph-Antoine), à Cabeza del Buey, province de Badajoz (Espagne).
Callon (Charles) ✻, rue de Birague, 16.
Calrow, rue Saint-Maur, 73.
Capdevielle, rue des Vertus, 70, à la Villette.
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcenat (Antoine), à la gare du chemin de fer du Nord, Paris.
Carcuac (Armand-Jean-Antoine), rue Neuve-des-Martyrs, 14.
Carimantrand (Jules), rue Jacob, 11.
Carpentier (Léon), rue de Fleurus, 37.
Carpi (Léonard-Emmanuel), avenue Montaigne, 53.
Cartier (Émile), avenue de Seine, à Rouen (Seine-Inférieure).
Castel (Émile) ✻ O. ✠, place Roubaix, 24.
Castor ✻, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet (Jacques-Aubin), rue Neuve-des-Mathurins, 73.
Cavé (François) ✻, place Lafayette, 114.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazalis de Fondouce (Paul), à Montpellier (Hérault).
Cazaux, à Suez (Egypte).
Cazes (Edwards-Adrien), à Madrid (Espagne).
Cernuschi, boulevard Malesherbes, 10.
Chabrier (Ernest) ✻, rue Saint-Lazare, 99.
Championnière, à Monlignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon, rue de Provence, 60.
Chancerel (Charles-Antoine), rue de la Fidélité, 16.

MM. CHAPELLE ✻, boulevard Beaumarchais, 90.
CHAPER ✻, rue de Provence, 46.
CHARBONNIER, avenue du Roule, 42, à Neuilly (Seine).
CHARBONNIER (Amédée-Pierre), rue de Provence, 56.
CHAREAUDEAU (Jules), rue de l'Arcade, 18.
CHARPENTIER (Joseph-Ferdinand), rue de Turenne, 80.
CHARPENTIER (Paul-Ferdinand), rue de Paris, 59, à Clichy (Seine).
CHAUVEAU DES ROCHES (Arthur), rue de Tournon, 16.
CHAUVEL (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
CHAVÈS (Léopold), inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
CHÉRON (Charles-Louis), boulevard de Courcelles, 104.
CHÉRONNET (Victor), boulevard Haussmann, 57.
CHEVANDIER DE VALDROME (Eugène-Jean) O. ✻, rue de la Victoire, 22.
CHOBRZYNSKI (Jean-Pierre-Charles) ✻, boulevard Magenta, 139.
CHOLET (Lucien-Alfred), à Lassay (Mayenne).
CHOLLET (Louis), à Belfort (Haut-Rhin).
CHOPIN (Nicolas-Philippe), à Jarnac (Charente).
CHUWAB (Charles), faubourg Saint-Denis, 67.
CIALDI (Alexandre), ✻ ✠, Via dell Anima, 45, à Rome (Italie).
CKIANDI (Alexandre-Henri), cours Bonaparte, 80, Marseille (Bouches-du-Rhône).
CLAPARÈDE (Frédéric-Moyse), à Saint-Denis (Seine).
CLARO (Paul-Victor), rue des Petites-Écuries, 11.
CLÉMANDOT (Louis) ✻, 18, rue Brochant (Batignolles).
CLÉMENT-DESORMES, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
CLERVAUX (DE) (Paul), directeur des usines de Torteron (Cher).
COIGNET (François), rue Miroménil, 98.
COINDET (Eugène), boulevard d'Elbeuf, 50, à Rouen (Seine-Inférieure).
COLBURN (Zerah), 7, Gloucester Road Regents Park London (Angleterre).
COLLADON, à Genève (Suisse).
COLLET (Charles-Henri), place Vendôme, 8.
COMTE (Charles-Adolphe), à Navarreux, arrond. d'Orthez (Basses-Pyrénées).
CONRARD, Grande-Rue, 16, à Foug-lès-Toul (Meurthe).
CONSOLAT, boulevard Malesherbes, 68.
CONTAMIN (Victor), rue Saint-Antoine, 214.
COQUEREL (Paul), boulevard des Batignolles, 22.
CORDIER (Jean-Antoine), rue Saint-Lazare, 104.
CORNAILLE (Alfred), à Cambrai (Nord).
COSYNS, à Couillet, par Charleroi (Belgique).

MM. Cottrau (Alfred-Henri-Joseph) ✻, ingénieur de section de la direction générale des chemins de fer méridionaux, à Florence (Italie).
Couard (Joseph-Félix), avenue Lacuée, 6.
Cournerie (Amédée-Barthélemy), à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtin (Amédée-Augustin), aux ateliers du chemin de fer du Nord, à la Chapelle.
Courtines (Jacques) ✻, à Rueil (Seine-et-Oise).
Coutanceau (Alphonse), rue Judaïque, 66, à Bordeaux (Gironde).
Couture (Jules), rue de la Darse, 9, à Marseille, (B. du R.).
Crépin (Christian), à la sucrerie de Louez, près Arras (P. de C.).
Crespin (Auguste), boulevard de Clichy, 14.
Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 7 (maison E. Carimet et A. Crespin).
Crétin ✻, rue de Berri, 47.
Cuinat (Charles), chez M. Gouin, avenue de Clichy (Batignolles).
Dagail (Louis), à Angoulême (Charente).
Daguerre d'Ospital (Léon), calle de Prado, 20, à Madrid (Espagne).
Daguin (Ernest) ✻, rue Geoffroy-Marie, 5.
Dailly (Gaspard-Adolphe) O. ✻, rue Pigalle, 69.
Dallot (Auguste), rue Béranger, 17.
Dambricourt (Auguste), à Vezernes par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Daney (François), place Sainte-Croix, à Bordeaux (Gironde).
Darblay (Paul) ✻, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Daret-Derville, à Séville (Espagne).
Daveluy (Marie-Alfred-Alphonse), rue d'Hauteville, 33.
David (Augustin), boulevard Magenta, 14.
David (Henri), rue Doudeauville, 14, à la Chapelle.
Debarle (Louis), à Congis par Lizy-sur-Ourcq (Seine-et-Marne).
Debauge (Jean-Louis) ✻, rue de Tournon, 8.
Debonnefoy de Montbazin, rue de Madame, 6.
Decaux (Charles-Auguste) ✻, rue Notre-Dame-des-Champs, 107.
De Coene (Jules), à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse (Charles), rue Blanche, 63.
De Dion (Henri) ✻, rue de la Victoire, 70 *bis*.
Deffosse (Étienne-Alphonse), au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, au Puy (Haute-Loire).
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
D'Eichthal (Georges), rue Neuve-des-Mathurins, 100.
Delannay, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy (François-Albert), ✻ C ✻, à la gare du chemin de fer d'Orsay, à Montrouge.
Delaporte (Louis-Achile), rue de Turenne, 43.

MM. DELATTRE, boulevard du Prince-Eugène, 63.
DELAUNAY (Jules-Henri) ✻, rue d'Amsterdam, 4.
DELAUNAY (Louis-Marie-Gabriel), rue du Port, 9, à Saint-Denis (Seine).
DELEBECQUE, rue de Chabrol, 34.
DELIGNY (Simon-Victor) O ✻, vieille route de Neuilly, 15.
DELOM (Florentin), ingénieur du matériel du réseau central de la Compagnie d'Orléans, rue Léonie, 14.
DELON (Ernest-Louis), rue Sainte-Catherine, 101, à Bordeaux (Gironde).
DELONCHANT, rue Saint-Pierre, 3, à Sèvres (Seine-et-Oise).
DELPECH (Ferdinand), Chaussée d'Antin, 51.
DELSA (Hubert), à Pietrasa, près Naples (Italie).
DEMANEST (Edmond), rue Crétet, 6.
DEMEULE (Gustave), à Elbeuf, rue de la Bague, 1 (Seine-Inférieure).
DENFER (Jules), directeur de la papeterie d'Essones (Seine-et-Oise).
DENIEL ✻, à Troyes (Aube).
DENISE (Lucien), passage Violet, 12.
DEPÉRAIS (Ch.), Viro St-Peresella de Spagnoli, 33, à Naples (Italie).
DEPREZ (Marcel), rue de Rennes, 152.
DERENNES (Jean-Baptiste-Ernest), avenue Parmentier, 10.
DEROIDE (Auguste), cité Gaillard, 5.
DESBRIÈRE ✻, rue de Provence, 56.
DESFORGES (Louis-Alphonse), au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).
DESGOFFE (Auguste-Jules) boulevard de Vaugirard, 6.
DESGRANGE, ✻ C ✻ ✻ ✻, boulevard d'Hausmann, 93.
DESMASURES (Camille) O ✻, rue Neuve-Saint-Augustin, 22.
DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ (François-Xavier-Émile), rue de Lille, 79.
DESNOS (Charles), boulevard Saint-Martin, 13.
DESPRÉS (Gustave), rue de l'Arcade, 65.
DESPRET (Édouard), rue de Stassart, 69, à Bruxelles (Belgique).
DEVAUREIX (Jules), rue de la Cerisaie, 13.
DEVILLE (Anatole), rue de Lyon, 39.
DEZ (Jules), à Rochefort-sur-mer (Charente-Inférieure).
DÉZELU (Jacques-Isidore), rue Saussure, 12, aux Batignolles.
D'HAMELINCOURT (Éloi-Joseph), rue Saleneuve, 29 (Batignolles).
DIARD (Henri-Pierre-Alfred), à Amboise (Indre-et-Loire).
DIDIERJEAN (Eugène) ✻, à Saint-Louis (Moselle).
DIEUDONNÉ (Camille-Henri-Marie), boulevard du Prince-Eugène, 78.
DINAN, rue des Rats, 12, à Soissons (Aisne).
DOMBROWSKI (Thomas-Adolphe), à Metz (Moselle).
DONNAY (Charles), rue des Trois-Couronnes, 48.
DONZELLE (Joseph-Arthur), Foolseah factory near Bhugulssore, à Calcutta (Indes-Orientales).

MM. Dorré, à la gare du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
'Doublet, rue de Douai, 47.
Douliot (Paul-Charles), rue des Usines, 2, à Grenelle.
Dru (Saint-Just) (Antoine), rue Rochechouart, 69.
Dubied (Henri-Édouard), à Couvet, par Pontarlier (Suisse).
Dubois (Eugène-Auguste), rue de l'Annonciade, 30, à Lyon (Rhône).
Dubuc (Michel-Maximilien), boulevard Magenta, 70.
Dufournel (Alphonse-Théodore), à Gray (Haute-Saône).
Dufrené (Hector-Auguste), rue de la Fidélité, 10.
Dugourd, à Alais (Gard).
Dujour (Nicolas-Alexis), rue Legendre, 103, Batignolles.
Duméry, rue de Monceau, 14.
Dumont (Henri), à Jaguara, province de Minas Péraes (Brésil).
Du Pan (Louis), à Soissons (Aisne).
Duparc (Georges), rue Martel, 3.
Du Pré O ✻, rue Montaigne, 5.
Dupuy (Léopold-Philibert), rue de Flandre, 108, à la Vilette.
Durenne ✻, rue de la Victoire, 68.
Durenne (Antoine) ✻, rue de la Verrerie, 30.
Durocher (Constant), à Coulommiers (Seine-et-Marne).
Duval (Maurice-Charles), à Monte Rotondo, près Massa Maritima (Italie).
Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
Duval (Raoul), rue François Ier, 45.
Eiffel (Gustave), rue Fouquet, 48, à Levallois (Seine).
Elwell père, rue Tronchet, 5.
Elwell (Thomas), rue Moncey, 9.
Engelmann, en Russie.
Epstein (Jules-Eugène), rue Jean-Goujon, 28.
Ermel (Frédéric) ✻, rue de Valenciennes, 10.
Étienne (Antoine), calle de las Palmas, 77, à Séville (Espagne).
Euverte (Jules), à Terre-Noire (Loire).
Evans (Francisco), 103, Stale Street-Boston (Etats-Unis).
Évrard (Alfred), rue de Francfort, 6.
Evrard (Augustin), rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Fabre (Émile-Jean-Jacques-Ernest), rue Truffaut, 67, Batignolles.
Falguerolles (Eugène), à Séville (Espagne).
Faliès (Jacques-Alfred), rue aux Lièvres, au Mans (Sarthe).
Farcot (Joseph) ✻, au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot père ✻, au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot (Emmanuel), rue Soyer, 7, parc Neuilly (Seine).
Farcot (Abel), au port Saint-Ouen (banlieue).
Faure-Beaulieu, rue Meslay, 25.

MM. Febvre (Armand), rue de Ponthieu, 23.
Fell (John-Barraclough), rue de Rivoli, hôtel Meurice.
Fellot (Jean), rue Legendre, 101 (Batignolles).
Fernex (de), rue Léonie, 14.
Fernique (Albert), rue Impériale, 50, à Ivry.
Férot ✱, rue d'Aumale, 14.
Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue de la Tour, 117, à Passy.
Fèvre (Henri), boulevard Malesherbes, 72.
Fiévet (Ernest-Emile), rue Saint-Gilles, 11.
Flachat (E.) O ✱ ✱, rue Moncey, 9.
Flachat (Adolphe), rue Saint-Lazare, 62.
Flachat (Yvan), rue Lavoisier, 1.
Flachat (Jules), quai Maubec, 9, à la Rochelle (Charente-Inférieure).
Flaud ✱, avenue de Suffren, 40.
Flavien (Émile-Georges), rue du Bouloi, 26.
Foex (Etienne-Jean-Antoine), chemin des Chartreux, 77, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Fonbonne (de) (Charles-Alexandre), chaussée des Martyrs, 8.
Fontenay (de) (Anselme), rue Thénard, 9.
Fontenay (Tony), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
Fontenay (de) (Eugène) ✱, à Baccarat (Meurthe).
Forey (Miltiade), à Montluçon (Allier).
Forquenot (Victor) ✱, rue du Louvre, 6.
Fortin-Herrmann (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
Fortin-Herrmann (Emile), boulevard Montparnasse, 71.
Foucou, rue de Martignac, 5.
Fouju (Paul-François), à Iglésias (île de Sardaigne).
Fouquet (Louis-Ernest), chez M. Gouin, avenue de Clichy.
Fournier (Victor) ✱, boulevard de l'Empereur, 178.
Fournier, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Fournier (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
Fraix (Félix), rue Taitbout, 57.
Fresnaye (Adrien-Aimé), à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 24.
Fromont, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
Froyer, Grande-Rue, 21, à Batignolles.
Fuchet (Pierre-Paul), rue Mayet, 4.
Gaget, rue de Berlin, 17.
Gaildry (Cyprien), chaussée du Maine, 4.
Gallaud (Charles), rue Lepic, 54.
Gallois (Charles), à Francières par Pont-Saint-Maxence (Oise).
Gambaro, boulevard Denain, 7.

MM. GANDILLOT (Jules), rue de Tivoli, 6.

GANNERON, (Edmond) O ✻, quai de Billy, 56.

GARCIA (Manuel-Charles-Auguste), à Saintes (Charente-Infér.).

GARNIER (Paul) ✻, rue Taitbout, 16.

GARNIER (Jules-Jacques), rue du Pont-Louis-Philippe, 33.

GAUDET O ✻, à Rive-de-Gier (Loire).

GAUDRY (Jules), rue de Dunkerque, 24.

GAUDINEAU (Louis), rue Martel, 17.

GAUNE (André-Joseph-Emile), à Saint-Louis-de-Morangan (Brésil).

GAUPILLAT (Ernest), au Bas-Meudon (Seine-et-Oise).

GAUTHEY (Émile-Mac-Marius), rue de Lisbonne, 15.

GAUTHIER (Paul-Émile), rue du Temple, 20.

GAVEAU (Alfred-Frédéric), Marché aux Bestiaux, 9. à St-Omer (Pas-de-Calais).

GAYRARD (Gustave) ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 222.

GRAY (Charles-Louis), à Jarnac (Charente).

GÉNISSIEU, rue Chauchat, 13.

GENTILHOMME ✻, quai de la Tournelle, 45.

GEOFFROY (Octave), rue Marcadet, 8, à Montmartre.

GERBER (Eugène), rue de Londres, 30, à Bruxelles (Belgique).

GERMAIN, chaussée Ménilmontant, 24.

GERMON (Alexis) G. ✻, ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).

GÉRUZET (Victor), rue des Dames, 25 (Batignolles).

GEYLER (Alfred-Édouard), rue Blanche, 95.

GIBON (Alexandre-Louis), à Commentry (Allier).

GIFFARD ✻, rue Marignan, 14.

GIL (Claudio), à Barcelone (Espagne).

GIRARD, faubourg Poissonnière, 35.

GISLAIN, rue Clairvaux, 1, à Dijon (Côte-d'Or).

GODFERNAUX, place Pereire, 5.

GOLDSCHMIDT (Philippe), quai Jemmapes, 310.

GOLDSCHMIDT (DE) (Théodore), Elisabeth strasse, 3, à Vienne, (Autriche).

GOSCHLER (Charles), boulevard Saint-Michel, 35.

GOTTEREAU (Jean-Marie), ingénieur des mines à Belmez, province de Cordoue (Espagne).

GOTTSCHALK, ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, Maximilien strasse, à Vienne (Autriche).

GOUIN (Ernest) O ✻, rue de Cambacérès, 4.

GOUMET, rue du Temple, 118.

GOUTAUDIER (Joseph), au Breuil (Allier).

MM. Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
Gouvy (Émile) à Goffontaine (Prusse Rhénane).
Grall (Isidore), à Saint-Nazaire-sur-Loire (Loire-Inférieure).
Grand (Albert), rue Trévise, 14.
Grateau (Michel-Edmond) ✱, rue du Dragon, 9.
Gréggory (Georges-Aristide), bureau de la construction, à Jarnac (Charente).
Grenier (Achille) ✱ ✱, C. ✱, à Luxembourg (Grand-Duché).
Grièges (de) (Louis-Maurice), rue de Clichy, 43.
Guébhard (Alfred) ✱, rue de Lafayette, 87.
Guelle (Denis-Eugène), rue de Bourbon, 47, à Toulon (Var).
Guénivet (Ernest), chef de la verrerie de la Croix-Blanche, à Vierzon (Cher).
Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guerbigny (Germeuil-Gaston), à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise).
Guérin de Litteau (Edgar) ✱ ✱, rue Blanche, 3.
Guettier, rue Oberkampf, 74.
Guibal (Théophile) ✱, à l'École des Mines de Mons (Belgique).
Guillaume (Charles) ✱, chemin de fer du Midi, à Castres (Tarn).
Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 58.
Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillet (Félix-François), rue Descombes, 1, aux Ternes.
Guillon (Nicolas) ✱, à Amiens (Somme).
Guillon (Claudien), à la Valla, par Saint-Chamond (Loire).
Guillot (Gustave) ✱, rue Lamarre, 4, aux Ternes.
Guiter (André-Jacques-Joseph), à Ismailia (Isthme de Suez).
Guntz (Charles), à Haguenau (Bas-Rhin).
Hallié (François-Ernest), à Fermo (Italie).
Hallopeau (Paul-François-Alf.), rue de Compiègne, 4.
Hamers, boulevard Lefévre, 30.
Hamoir ✱, à Maubeuge (Nord).
Hangard (Louis-Émile), rue de Reuilly, 111.
Harouard (Charles-Narcisse-Auguste), Ce des Transatlantiques, à Saint-Nazaire (Charente-Inférieure).
Henderson (David), Spone Lanedron Norks nest Bromwich near Birmingham.
Henri-Lepaute, fils (Édouard-Léon), rue de Rivoli, 146.
Hermary (Hippolyte-Albert-Joseph), à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Herpin (Louis), rue Wé, 15, à Saint-Quentin (Aisne).
Herter (Émile), à Valence (Drôme).
Hervey-Picard (Paul-Philippe), rue Nollet, 56.

MM. HERVIER (Alfred-Charles), rue de la Fidélité, 10.
HEURTEBISE (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Chappe, 4, au Mans (Sarthe).
HINSTIN (Napoléon), rue Meslay, 40.
HODGSON (Jones), rue Ollivier-Saint-Georges, 12.
HOMBURGER (David), quai Jemmapes, 310.
HONORÉ (Frédéric), aux Forges-de-Siam, par Champagnole (Jura).
HOUEL ✻, quai de Billy, 48.
HOULBRAT (Abel), rue du Havre, 12.
HOVINE (Alfred), rue de Lyon, 61.
HUBER (William) ✻, rue Miroménil, 76.
HUBERT, rue Blanche, 69.
HUET (Alfred), rue Blanche, 95.
HUGUET (Auguste-Adrien), à Barbezieux (Charente).
HUMBLOT (Nicolas-Léon), rue des Clercs, à Metz (Moselle).
HURCOURT (D'), rue des Tournelles, 47.
IMBS (Alexis-Joseph-Alb.), à Lutzelhausen, par Schirmeck (Vosges).
JACQUES (Jean-Nicolas), boulevard du Prince-Eugène, 33.
JACQUIN ✻, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
JARRY, à Brion-sur-Ource (Côte-d'Or).
JAVAL (Ernest), place Wagram, 2.
JEQUIER (Henri-Jean), à Santiago (Chili).
JOLLY (César) ✻, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
JOLY (DE) (Théodore), rue de Grenelle-Saint-Germain, 121 *bis*.
JORDAN (Samson), rue de Bruxelles, 15.
JOUANNE (Gustave), rue Lecourbe, 76 (Vaugirard).
JOUANNIN (Achille), villa Montmorency, à Auteuil.
JOUSSELIN (Paul), quai Lepelletier, 8.
JOYANT (Charles-Paul-Abel), O. ✻ à Mulhouse (Haut-Rhin).
JUANMARTINENA (DE) (José), à Renteria, province de Guipuzcoa (Espagne).
JUBECOURT (DE) (Barthélemy), à Vaudrevanges, près Sarrelouis (Prusse Rhénane).
JULLIEN (Charles-Édouard), rue des Tournelles, 47.
JULLIN (Aimé), maison Barroux, route de Toulouse, à Auch (Gers).
JURY (Joseph), à Jarnac (Charente).
JUTEAU (Emile-Désiré), en Russie.
KARCHER (Édouard), à Sarrebruck (Prusse Rhénane).
KOMARNICKI (Sigismond), rue Blanche, 82.
KREGLINGER, boul. du Jardin-Botanique, 53, à Bruxelles (Belgique).
KRÉMER (Philippe), rue Montholon, 13.
LABORIE (DE) (Alexandre), boulevard de Sébastopol, 27.
LABOULAYE ✻, rue de Madame, 40.
LABOUVERIE (Prosper), à Bouillon, prov. de Luxembourg (G.-Duché).

MM. Lacombe ✻, rue Laval prolongée, 2.
Lacretelle (Claude-Étienne) rue des Acacias, 37, aux Ternes.
Lacroze, au Brésil.
Lafon (Adrien), à Mazamet (Tarn).
Lahure (Paul-Camille), hauts-fourneaux de Monceau-sur-Sambre, à Marchienne-au-Pont (Belgique).
Lainé, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Laligant (Paul), à Maresquel, par Campagne-les-Hesdin (Pas-de-C.).
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.
Lambert (Ernest), à Vuillafonds, par Ornans (Doubs).
Lancel (Augustin-Jules), ingénieur de la voie, à Tergnier (Aisne).
Landsée (Adolphe), rue de Ponthieu, 61.
Langlois (Auguste), rue de Clichy, 25.
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Langlois (Ernest-Hippolyte), à Fermo (Italie).
Lantrac (Eug.-Adolphe), rue des Saussaies, 1 (Faub.-St-Honoré).
Larpent, boulevard des Invalides, 18.
Larochette (de) (Jérôme) ✻, quai de la Charité, 27, à Lyon (Rhône).
Lartigue (Pierre-Gust.), Plaza de la Puerta Real, 8, à Séville (Esp.).
Lartigue (Henri), Grande-Rue, 66, à Passy.
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), rue Saint-Lazare, 48.
Lasvignes (Louis), à Aix-en-Provence.
Laurens (Antoine-Louis) ✻, rue Saint-Honoré, 368.
Laurens (Marie), rue de la Chatre, 13, à Agde (Hérault).
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).
Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles) ✻, rue de Chabrol, 35.
Laurenzano (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59 (Naples).
Lavalley ✻, avenue de l'Impératrice, 49.
Laveissière (Émile-Jean), rue de la Verrerie, 58.
Lebargy, ingénieur de la voie, à Amiens (Somme).
Lebon (Eugène), rue Drouot, 11.
Le Brun (Louis-Gabriel), rue de Belzunce, 10.
Leblond (Paul-Henri), avenue Trudaine, 47.
Le Brun (Raym.-Louis) ✻, puerta del Sol, 14, à Madrid (Espagne).
Lecherf, à Violaisnes (Pas-de-Calais).
Léclanché (Georges), rue Pigalle, 59 *bis*.
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), rue Lemercier, 32 (Batignolles).
Lecœuvre (Paul), rue Turenne, 111.
Leconte ✻, rue de Bercy, 4.

MM. Lecorbellier (George-G.), rue de Londres, 51.
Le Cordier (Léon), à Caen (Calvados).
Lefèvre (Louis-Marie), au Creusot (Saône-et-Loire).
Lefèvre (Prosper), rue Lemercier, 31 (Batignolles).
Lefèvre (Edmond-Ferdinand) ✱, boulevard Magenta, 64.
Lefèvre (Eugène-Hippolyte), à Avesnes-sur-Helpe (Nord).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legat (Mathurin-Désiré), rue de Châlons, 22.
Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).
Lehaitre (Paul-Léon), rue de Lille, 37.
Lejeune (Charles-Émile) ✱, chef de l'exploitation du chemin de de fer des Charentes, à Saintes (Charente-Inférieure).
Le Laurin (Jules), rue de Rivoli, 50.
Leloup (Joseph-Benoît), fabricant de sucres, à Arras (P.-de-C).
Leloup (Félix), aux mines de l'Autunois, à Autun (Saône-et-Loire).
Leloup (Louis-Joseph-Clément), rue Brochant, 18.
Lemaire (Alexandre-Auguste), à Aix-les-Bains (Savoie).
Lemoinne (Lucien) ✱, rue Desbordes-Valmore, 18, à Passy.
Lemonnier (Paul), aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barois (Haute-Marne).
Lencauchez, rue du Faubourg-Saint-Martin, 212.
Lepainteur (Constant), directeur de la Fonderie, à Évreux.
Lepeudry (Paul-Noël), rue Montholon, 28.
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy (Amable), place de la Gare, 27, à Nancy (Meurthe).
Le Roy Desclosages (Raoul-Charles), Grande-Rue, 104, à Champigny-sur-Marne (Seine).
Letellier, rue Saint-Vincent-de-Paul, 7.
Letestu, rue du Temple, 118.
Létrange (Léon), rue des Vieilles-Haudriettres, 1.
Levassor (Ém.-Constant), à la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).
Levat (Gustave) ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Level (Émile), rue Boissy-d'Anglas, 9.
Lévi-Alvarès (Albert), O ✱, au chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante, à Madrid (Espagne).
Lévy (Jules), rue des Écluses-Saint-Martin, 23.
Leigue (Pierre-Aug.-Léon), rue Royale, 82, à Saint-Quentin (Aisne).
Lhomme (Paul-Émile), rue Blanche, 69.
Limet (Hippolyte), à Cosne (Nièvre).
Limoge (de) (Louis-Auguste), rue Neuve de la Villardière, 30 (Guillotière), à Lyon (Rhône).
Lippmann (Edouard), rue de Rivoli, 51.
Lissignol (Antoine-Abraham-Emmanuel), rue de la Pépinière, 2.
Litschfousse (Léon), Calle de las Hibéras, 21, à Madrid (Espagne).

MM. Llyod, aux États-Unis.
Loiseau (Adolphe), rue de Sèvres, 108.
Loiseau (Désiré), rue de la Butte-Chaumont, 47.
Loisel O ✻, galerie du Roi, 15, à Bruxelles (Belgique).
Longpérier (Charles), rue Sabot, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).
Longraire (Léopold-François), via Goito, 10, à Gènes (Italie).
Lopez-Bustamante (Francisco), à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Love (Georges-Henri) ✻, rue Taitbout, 57.
Mac Alpine, 16, Broadway New York.
Madelaine (Édouard), à Saintes (Charente-Inférieure).
Magny (Charles), à Luxeuil (Haute-Saône).
Maire (Armand), boulevard Malesherbes, 19.
Maldant, rue d'Armaillé, 27, aux Ternes.
Mallet (Anatole), rue Blanche, 80.
Malo Léon), aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), ✻ ✻ ✻, 79, Harley street, Londres (Angleterre).
Mangeon (Ernest), à Melun (Seine-et-Marne).
Marçais, boulevard de la Madeleine, 17.
Marché (Eugène-Ernest, à Foix (Ariége).
Marcilly (de), architecte, rue Nollet, 41 (Batignolles).
Marco Martinez (Agapito) ✻, Calle del Val, 11, à Valladolid (Espag.).
Maréchal (Alfred), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Marès (Henri-Pierre-Louis), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié (Ernest) ✻, rue de Seine, 6.
Marin (Paul), à Bühl, près Guebwiller (Haut-Rhin).
Marindaz (Jules-Charles), rue Saint-Lazare, 96.
Marion (Jacques-Louis), rue Martel, 18.
Mariotte (Charles), quai de la Râpée, 36.
Marland (Joseph), dir. des ateliers de M. Joret, à Bessèges (Gard).
Marle (Paul), aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Marsillon (Jean), ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).
Martenot ✻, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (Charles), rue Nollet, 90 (Batignolles).
Martin (Louis) ✻, rue de Strasbonrg, 10.
Martin (Charles-William), avenue de la Reine-Hortense, 13.
Martin (Léon-Adolphe), rue d'Assas, 5.
Mary (Albert-Jean-Baptiste), rue d'Aubervilliers, 20, à la Villette.
Masselin (Armand), boulevard Beaumarchais, 46.
Mastaing (de) (Louis), rue de Chaillot, 95.
Mathey (Félix), à Saint-Pétersbourg (Russie).
Mathias (Félix) ✻ O, ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand) ✻ ✻, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri) ✻, rue Casimir-Périer, 27.

MM. Mathieu (Ferdinand) O. ✻, rue de Provence, 56.
Mathieu (Jules) ✻, rue de l'Entrepôt, 15.
Matthiessen (James-Adolphe), boulevard Malesherbes, 73.
Mauget (Jean-Aristide) ✻, Pallazzo Rossi al Largo Marcatello, à Naples.
Mauguin (Pierre-Étienne), rue Taitbout, 80.
Maure (Edmond), rue de Penthièvre, 24.
Maury (Arthur-Nicolas), rue Guy de la Brosse, 7.
Mayer (Edmond-Louis), boulevard Beaumarchais, 82.
Mayer (Ernest) ✻, rue d'Amsterdam, 39.
Mazade (de) (Valentin), rue Singer, 20, à Passy.
Mazeline ✻, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
Mégret, au château de la Meynardie, à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
Mélin (Jules-Léon), rue Albouy, 25.
Méraux (Gustave-Louis), rue de Chabrol, 36.
Mercier (Auguste), rue Pierre-Levée, 18.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ✻, à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Mesnard, rue de l'Université, 183.
Métayer (Ferd.-Pierre), Pet. r. du Colisée, 21, à Bordeaux (Gironde).
Meyer (J.-J.), avenue de Neuilly, 113 (Seine).
Meyer (Adolphe), avenue de Neuilly, 113 (Seine).
Michaud (Edmond), rue du Faubourg-Saint-Denis, 157.
Michaud (Jules), rue de Douai, 7.
Michel (Alphonse), à Troyes (Aube).
Michel (Léopold), à Saintes (Charente-Inférieure).
Michelant ✻, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt), à Ivry.
Michelet (Émile), quai Valmy, 251.
Michelet (Gustave), rue des Deux-Églises, 32, à Bruxelles (Belgique).
Mignon, rue Oberkampf, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Mirecki (Antoine-Salwomir), boulevard Magenta, 150.
Mitchell (William-Jean-Baptiste) ✻ ✻, au chemin de fer de Lyon, boulevard Mazas.
Moerath (Jean-Népomucène, Alser strasse, 25, à Vienne (Autriche).
Moisant (Armand), constructeur, rue d'Assas, 28.
Moléon (Léopold), rue Saint-André-des-Arts, 52.
Molinos (Léon-Isidore) ✻, rue du Cardinal-Fesch, 2.
Moll (Henri), quai Bourgogne, 57, à Bordeaux (Gironde).
Mollard, rue de l'Écluse, 17.
Monard (Charles), avenue du Bel-Air, 24, à Saint-Mandé.
Monnot (Paul-Charles), boulevard Impérial, 163, au Havre (Seine-Inférieure).

MM. MONTCARVILLE (DE) (Félix), au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONTHIERS, rue Neuve-des-Petits-Champs, 62.
MONTOUAN (André), rue du Chemin de fer, 35, à Vaugirard.
MONY (Stéphane) O. ✻, à Commentry (Allier).
MORANDIÈRE (Jules-Raoul), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
MORANDIÈRE (Édouard-Alexis), à Niort (Deux-Sèvres).
MOREAU (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
MOREAU (Émile), rue de la Tour, 16, à Bordeaux (Gironde).
MOREAUX (Félix) ✻ ✻, rue de Ponthieu, 8.
MORICE, ingénieur de la voie, à Hazebrouck (Nord).
MORIN (le général) G. ✻ ✻ ✻ ✻, rue Saint-Martin, 292.
MOUCHELET Bey, rue de Clichy, 60.
MRAILE (Alexandre-Antonin), agent voyer à Jonzac (Charente-Infér.)
MULLER (Adrien, rue Buffault, 23.
MULLER (Émile) ✻, rue de Chabrol, 33.
NANCY (Alfred), ingénieur des docks, au Havre (Seine-Inférieure).
NEHSE (Charles-Georges), en Russie.
NÉRI (Ferreira-Jean), au Brésil.
NILLIS (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
NILLUS (Albert-Emmanuel), rue Notre-Dame-des-Victoires, 44.
NOISETTE, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
NORDLING (Wilhelm) ✻, boulevard Malesherbes, 87.
NORMAND fils, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
NOUGARET (Jean-Joseph), à Saintes (Charente-Inférieure).
NOUGUIER (Émile-Toussaint-Michel), rue Saint-Honoré, 171.
NOZO (Alfred) ✻ ✻, boulevard Magenta, 141.
NYE (Henri), rue Chappe, 7.
O'BRIEN (William), rue Charles-Laffitte, 19, à Neuilly (Seine).
ORSAT (Louis-Hingest), rue de la Victoire, 29.
ORSATTI (Camille), rue Neuve des Petits-Champs, 38.
OTTAVI (Antoine), à Ajaccio (Corse).
OUDOT (Charles), chef de Section, rue des Fossés, 4, à Castres, (Tarn).
OUGHTERSON (George-Blacke), fondeur à Rouen (Seine-Inférieure).
PAGET (Frédéric-Arthur), Adam street, 18, Adelphi, W. C. (Londres).
PAJOT (François-Théophile), rue Taitbout, 87.
PALOTTE (Émile) fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 15.
PAQUIN ✻, au chem. de fer de Saragosse à Alicante, à Madrid (Esp.).
PASCAL, rue du Faubourg-Poissonnière, 167.
PASQUET-CHAMIER (George-Antoine), boulevard de Strasbourg, 48.
PAUL (Antoine), rue de Clichy, 69.
PEDEZERT (Charles-Henri), à Saintes (Charente-Inférieure).
PÉLEGRIN (Henri-Auguste), à Shang-Haï (Chine).
PÉLEGRY (Maurice-François-Louis), rue Saint-Pantaléon, 5, à Toulouse (Haute-Garonne).

MM. Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Pellier (Pierre-Émile), rue Serpenoise, 10, à Metz (Moselle).
Pépin-Lehalleur ✻ ✻, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Pereire (Eugène) O. ✻ ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pereire (Émile) fils, boulevard Malesherbes, 86.
Pereire (Henri), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pérignon (Eugène), faubourg Saint-Honoré, 105.
Périssé (Jean-Sylvain), rue Lemercier, 1, aux Batignolles.
Perret (Louis), rue d'Hauteville, 67.
Perrot ✻, rue Saint-Dominique-Saint-Germain, 16.
Pesaro (Jules), à Parme (Italie).
Petiet (Jules) O. ✻ C. ✠ O. ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Petin O. ✻, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (Émile-Charles), rue des Minimes, à Roanne (Loire).
Petit (Georges-Charles-André), à Cognac (Charente).
Petitgand, boulevard Malesherbes, 68.
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, place Vendôme, 16.
Picard (Maurice-Félix-Antoine), rue de la Reine, 57, à Lyon (Rhône).
Picard, 36, Via della Cernajo, à Turin (Italie).
Pichault (Stephane), à l'établissement de John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Pierre (Antoine), à Remiremont (Vosges).
Pierron ✻, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Piet (Jules), rue Chabrol, 47.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody (Arnault), entrepreneur des travaux publics, à Villeneuve-l'Archevêque (Yonne).
Pinat (Léon), aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet (Alphonse), 11, calle del Espirito Santo, à Madrid (Espagne).
Place (de) (Henri), à Commentry (Allier).
Planat (Paul-Amédée), place de la Bourse, 9.
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet (Henri), directeur des mines de Santo-Martinho, à Alcanises, province de Zamora (Espagne).
Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).
Poncelet (Antoine), O. ✻ ✻, à Bruxelles, (Belgique).
Poncin (Frédéric), rue Saint-Saturnin, 6, à Tours (Indre-et-Loire).
Portilla (de la) (Mathieu), constructeur, à Séville (Espagne).
Pot (Charles), rue Dieudé, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, Passy.
Pouchet (James), rue Bréda, 9.

MM. Pouell, ing. de la voie au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).
Poulot, avenue Trudaine, 9.
Poupard, rue de Longchamps, 40, à Chaillot.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley (William-Charles), rue du Cherche-Midi, 36.
Prisse (Édouard-Louis) ✱, chem. de fer d'Anvers à Gand (Belgiq.).
Pronnier (Charles), quai Voltaire, 23.
Prou (Victor-Armand), place de la Bourse, 15.
Prouteaux (Réné-Albert), directeur de la papeterie de Thiers (Puy-de-Dôme).
Prudon (Jean-Marie), ingén. de la maison Joret à Montataire (Oise).
Pury (de) (Gustave) ✱, à Neuchâtel (Suisse).
Puylaroque (de) (Raymond), rue de Sèvres, 137.
Quarre d'Aligny (Henri-Ferdinand), boulevard de Neuilly, 142.
Quesnot (Louis-Auguste-Émile), boulevard Mazas, 18 ou 20.
Rainneville (de) (Xavier), boulevard Haussmann, 104.
Rancès (Frédéric), rue Sainte-Catherine, 137, à Bordeaux (Gironde).
Raspail (Émile-Jules), rue du Temple, 14.
Redon (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), place Royale, 10, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Régel (de) (Philippe-Constant) ✱, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnard (Louis-Paul-Antoine), rue Charlot, 15.
Regnault (Jules) ✱, rue de Stockholm, 4.
Renard (Nicolas-François), rue du Bac, 122.
Renard (Lucien), rue de la Bienfaisance, 40.
Rey (Louis-Pierre-Félix) ✱, rue Guillaume, 8 (Ile Saint-Louis).
Reymond (Francisque), entrepreneur, place de la Mairie, à Montbrison (Loire).
Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).
Reynaud (Georges), au Havre (Seine-Inférieure).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Revin (Jules-Henri-Victor-J.), rue Cambraisienne, 92, à Avesnes (Nord).
Rhoné (Charles-Léopold) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Ribail (Xavier), rue du Chemin-de-Fer, 35, à Plaisance.
Richard (Jean-Louis) ✱, rue Billault, 41.
Riche (Armand), rue du Bac, 34.
Richemond (Émile-Louis), rue Mansart, 11.
Richemont (de) (Nicolas), à Gous, près Kocimoff, gouvernement de Riazan (Russie).
Richomme, rue Saint-Jean, à Pontoise (Oise).
Ridder (de) (Pierre-Octave), rue de Douai, 6.
Robert (Gustave-Louis), à Montigny-lès-Metz (Moselle).
Rocaché (Louis-Jules), rue Chaptal, 25.

MM. Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Rohart (François-Ferdinand), rue Nollet, 72, à Batignolles.
Rolin (François-Étienne), à Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales).
Romme (Alfred) ✻, à Saint-Quentin (Aisne).
Roques (Adrien-Jacques), route de Toulouse, maison Darroux, à Auch (Gers).
Roseau (Ubald-Ursmar), à Fives, près Lille (Nord).
Rosiés (Aristide), rue des Abeilles, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Rouart, rue Oberkampf, 149.
Roussel (Simon), rue Turenne, 95.
Roussin (Étienne), rue des Fossés, 3, à Vitré (Ille-et-Vilaine).
Rouyer (Victor-Léandre), rue de l'Annonciation, 5, à Passy.
Roy (Edmond), sous-directeur de l'Ecole des Arts-et-Métiers, à Lima (Pérou).
Roze (Eugène), fabricant de toiles cirées, rue du Château d'Eau, 78.
Rozycki (Stanislas), au Creusot (Saône-et-Loire).
Rubin (Arthur), rue de Navarin, 22.
Ruhlmann (Albert-Martin), rue Montebello, 10, à Anvers (Belgique).
Ruolz (de) O. ✻ G. O. ✻ C. ✻, rue du Canivet, 3.
Saillard, constructeur, à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, rue de la Cigogne, 5, à Rouen (Seine-Inférieure).
Salesse (Paul-Alphonse), rue de Charenton, 153.
Salleron (Ernest), à Sens (Yonne).
Salvetat (Alphonse) ✻ ✻, à la Manufacture impériale de Sèvres (Seine-et-Oise).
Sambuc (Jules), à Reims (Marne).
Sandberg (Christer-Geter), consulat suédois, à Londres.
Sautter (Louis) ✻, rue Jean-Goujon, 16.
Sauvan-Deleure (Louis), à Belmez, province de Cordoue (Espagne).
Scellier, directeur de l'usine du Pied-Selle, à Fumay (Ardennes).
Schabaver, à Castres (Tarn).
Schaeck (Augustin-Clément), rue Lafayette, 103.
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker (Michel-Adolphe), à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger (Henri) ✻, au château de Guebwiller (Haut-Rhin).
Schlumberger Hartmann, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schmoll (Adolphe), rue d'Amsterdam, 20.
Schneider (Eugène) G. O. ✻ ✻, président du Corps législatif, rue Boudreau, 1.

MM. Schwæblé (Paul-Joseph), rue Blanche, 4.
Sébillot (Amédée), rue de Laval prolongée, 15.
Seebold (Lothaire-François), rue de Dunkerque, 29.
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Seillière (Edgard aimé), boulevard Malesherbes, 59.
Ser (Louis), rue de Rivoli, 82.
Sérafon ✱, rue Laval-Prolongée, 19.
Sergeyeff (Nicolas), boulevard Malesherbes, 73.
Servier (Édouard), rue Lafayette, 89.
Siéber, via Borgo Nuevo, 40, à Turin (Italie).
Siemens, rue Drouot, 2.
Simon (Henri), 7, Saint-Peters square, à Manchester (Angleterre).
Simonin (Louis) ✱ ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 103.
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Sommeiller (G.) 2, via S. Secundo, à Turin (Italie).
Stilmant (Philippe-Louis-Aimé), rue de Rome, 115.
Stoclet (Victor), place de la Chancellerie, 4, à Bruxelles (Belgique).
Stœkel (Charles), à Gannat (Allier).
Stummer (de) (Charles), à Vienne (Autriche).
Sulberger-Ziegler, à Winterthur (Suisse).
Taillard (Ernest), à Bruxelles (Belgique).
Tardieu (Henri-Ernest), rue de Famars, 94, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue Monsieur-le-Prince, 49.
Tétard (François), rue Du Guay-Trouin, 17.
Thauvin (Pierre-Jules), à Pise-Fontaine près Triel (Seine-et-Oise).
Thévenet (Jules), rue de Douai, 61.
Thirion (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.
Thirion (Oswald), rue de la Pépinière, 18.
Thomas (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
Thomas (Pierre), rue du Théâtre, 100 (Grenelle).
Thomas (Frédéric), à la gare de Toulouse (Haute-Garonne).
Thomas (Max), quai Voltatre, 25.
Thomé de Gamond, rue de Bruxelles, 34.
Thouin (Charles) ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Thouvenot, à Saint-Maurice, canton de Valais (Suisse).
Tiquet (Pierre-Maurice-Gustave), au Magny-Vernois, par Lure (Haute-Saône).
Tournadre de Noaillat (Lucien-Henri-Amable), à Murat (Cantal.
Tourneux (Félix), rue de la Michodière, 20.
Touron (Roch-Sylvain), rue de Dunkerque, 18.
Traz (de) (Édouard), rue d'Amsterdam, 71.
Trélat (Émile) ✱, rue d'Enfer, 59.
Tresca, O. ✱ ✱ ✱ ✱, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.

MM. TRESCA (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
TREVELLINI (Louis), à Florence (Italie).
TRONCHON (Jean-Anatole), à Luxembourg (Grand-Duché).
TRONQUOT (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 43.
TURCK (Michel), rue d'Amsterdam, 29.
ULENS (Léon), rue Godecharles, 20, à Ixelles lez-Bruxelles (Belgique).
URBAIN (Victor), rue Nollet, 17, Batignolles.
URBAN (Maurice-Pierre), rue des Sols, 23, à Bruxelles (Belgique).
VAESSEN, directeur des ateliers de la Société Saint-Léonard, à Liége (Belgique).
VAILLANT (Marie-Edouard), à Ancy-le-Franc (Yonne).
VALENTIN (Léopold) ✻ ✻, place des Martyrs, 17, à Bruxelles (Belgique).
VALLANCE (Frédérich), Bridge street, Greenwich Kent, à Londres (Angleterre).
VALLEZ (Alphonse), rue des Anges, 10, à Valenciennes (Nord).
VALLIER (Émile), rue Saint-Lazare, 142.
VANDEL (Emile), aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
VANDER ELST (Lucien), à Braine-le-Comte (Belgique).
VAUTHIER, rue Saint-Lazare, 11.
VÉE (Léonce-Émile), boulevard Malesherbes, 72.
VEGNI (Angelo), via Saint-Niciolo, 131, à Florence (Italie).
VERDIÉ ✻, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire)
VERET (Jacques), rue de Londres, 36.
VÉRITÉ (Augustin-Lucien), à Beauvais (Oise).
VERRINE (Louis-Justin), rue Berbisey, 21, à Dijon (Côte-d'Or).
VESCOVALI (Angelo), via Argentine, 34, à Rome.
VIDAL (Victor), ingénieur de la Mission française au Caire (Égypte).
VIDARD (Jean-Baptiste), rue Nollet, 56, Batignolles.
VIEILLARD (Jules-André-Albert), quai de Bacalan, 77, à Bordeaux Gironde).
VIGAN (Eugène-Médéric), Cours de Vincennes, 45.
VIGNIER (Pierre-Auguste) ✻, rue de la Paix, 98, Batignolles.
VIGREUX (Léon), boulevard des Filles-du-Calvaire, 8.
VILLERMÉ, à Trelon (Nord).
VINAY (Pierre-Jules-Émile), rue Vanneau, 38.
VINCHENT ✻, ingénieur en chef de l'État, à Bruxelles (Belgique).
VINIT (Pierre-Arsène), contrôleur au chemin de fer de Lyon, rue Montpensier, 34.
VIRON (Charles-Louis), chef de section du chemin de fer d'Orléans, à la gare, à Châtellerault (Vienne).
VORUZ aîné ✻, à Nantes (Loire-Inférieure).
VUIGNER (Henri-Louis), rue de l'Université, 30.
VUIGNER (Adrien), rue des Saints-Pères, 14.

MM. VUILLEMIN (Émile) ✻, aux Mines d'Aniche (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles) ✻ O. ✻ ✻, rue Réaumur, 43.
WAHL ✻, rue de Bercy, 4, à Paris.
WALLAERT (Auguste), rue Saint-Sauveur, 23, à Lille (Nord).
WATTEVILLE (DE) (Charles-Louis), rue Turbigo, 89.
WEIL (Frédéric) ✻, rue des Petites-Écuries, 13.
WEST (Paul), rue de Clichy, 43.
WHALEY (Georges), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
WILLIEN (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 10, à Strasbourg (Bas-Rhin).
WISSOCQ (Alfred), à Charleroi (Belgique).
WOHLGUEMUTH, calle del Consego de Ciento, 356-2, P Ensenche à Barcelone (Espagne).
WURGLER (André), rue de Compiègne, 2.
XAVIER (Jean), rue Laffitte, 46.
XIMENEZ (Aureliano), à Ciudad Real (Espagne).
YVERT (Léon), rue de Londres, 58.
YVON-VILLARCEAU (Antoine) ✻ ✻, à l'Observatoire.

Membres Associés.

MM. CALARD (Théodule) ✻, rue Leclere, 8.
CHATEAU, au port Saint-Ouen (Banlieue).
CORDIER (Henry-Georges), à Bellefontaine, district de Porrentruy, canton de Berne (Suisse).
COURLET, 15, chemin de la Belle-de-Mai, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
DAVILLIER (Henri) ✻, président de la Chambre du Commerce, rue Roquépine, 14.
ESTOUBLON, maître de forges, rue Lepic, 57.
EVEN, rue Montoyer, 36, à Bruxelles (Belgique).
GARNIER (Ernest-Louis-Auguste) O. ✻, rue St-Pierre-Popincourt, 4.
LAUMOND (Adrien), à Iglisiàs (île de Sardaigne).
LAVEISSIÈRE (Ernest-Jean), rue de la Verrerie, 58.
LAVEISSIÈRE (Jules-Joseph), rue de la Verrerie, 58.
LESSEPS (DE) (Ferdinand) O. ✻ ✻, ✻ président de la Compagnie universelle du canal de Suez, rue Richepance, 9.
LUCK (Édouard), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
MILLY (DE) O. ✻ C. ✻ ✻ ✻, rue de Calais, 12.
MORIZOT (Édouard), à Écos (Eure).
OESCHGER (Louis-Gabriel), à Biache-Saint-Wast (Pas-de-Calais).

MM. PEREIRE (Émile) C. ✻ ✻, président du Conseil d'administration du Chemin de fer du Midi, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

PEREIRE (Isaac) O. ✻ ✻, président du conseil d'administration de la Société autrichienne impériale et royale, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

ROBIN (Théodore), rue Saint-Lazare, 99 *bis*.

VICKERS, rue et hôtel du Helder.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 3.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Londres, 8.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, rue Laffitte, n° 17.

Secrétaire-Archiviste.

M. HUSQUIN DE RHÉVILLE, rue Buffault, 26.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

1ER TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1868

Séance du 10 Janvier 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 20 décembre 1867 est adopté.

La Société a reçu, de M. Goschler, le troisième volume de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*. Ce volume comprend le service de la locomotion.

M. le Président fait remarquer l'importance qu'a prise cette publication. L'auteur instruit par son expérience personnelle de ce qu'il convient de savoir ou de recueillir facilement dans les diverses fonctions du personnel technique des chemins de fer, s'est efforcé de composer un guide, qui soit au courant des progrès accomplis dans ces dernières années. La pensée du livre est excellente, la méthode en est claire. On ne peut qu'applaudir aux efforts tentés par M. Goschler, son traité est très-substantiel et ne peut manquer d'être utile.

L'ordre du jour appelle l'installation des membres du bureau et du Comité.

M. Flachat, président sortant, prononce le discours suivant :

Messieurs,

L'année 1867 a été pour votre Société, je veux dire pour la profession qui occupe le premier rang dans l'industrie et dans les travaux publics, pleine d'activité et d'enseignements.

Les ingénieurs, tous, ceux de l'État comme les ingénieurs civils, Français ou étrangers, se sont montrés ardents à profiter de l'Exposition universelle pour y comparer l'état de l'industrie dans le monde, voir la France, voir aussi Paris, ce grand centre d'activité, et y fonder des relations personnelles parmi leurs collègues dans notre profession.

En quittant ce fauteuil, je jetterai un coup d'œil rétrospectif sur la part que

notre Société a prise, par ses travaux, dans le grand mouvement qui s'est accompli sous nos yeux.

Cependant, avant d'aborder les questions que le passé lègue à l'avenir, il faut parler de ce qui nous touche le plus immédiatement et rappeler les deuils qui nous ont frappés. M. Perdonnet, fondateur de l'Association polytechnique, la plus généreuse des institutions d'enseignement populaire de cette époque, l'un des fondateurs aussi, comme professeur et comme directeur, de l'École centrale qu'il aimait de toutes les forces de son âme, Président honoraire de cette Société qui lui avait en ceci témoigné sa gratitude pour les services qu'il nous a rendus, M. Perdonnet a été enlevé cette année après une bien longue et douloureuse maladie. Il a laissé des regrets universels. Exemple du dévouement le plus ardent et le plus désintéressé pour les institutions auxquelles il s'était voué, il laisse un nom qui, associé à leur origine et à leurs progrès, deviendra historique.

M. Fourneyron a terminé cette année une carrière laborieuse et honorable. Il avait embrassé une spécialité, celle des moteurs hydrauliques, avec un grand amour de la science et dans des vues pratiques pleines de rectitude. A force de persévérance et d'études, ce but a suffi à sa considération et à sa fortune; un instant il a été sur les marches de l'Institut. Nous l'avons vu, dans ces dernières années, au milieu de nous; nous avons apprécié ses relations pleines de douceur et de modestie et nous avons compris ce qu'il y avait de puissance dans l'étude patiente et convaincue d'un but en apparence restreint, en réalité très-important, dans l'industrie. M. Fourneyron a, vous vous le rappelez, laissé à notre Société une part dans le bel usage qu'il a fait, en mourant, d'une partie de sa fortune.

La mort nous a enlevé encore trois jeunes ingénieurs sortis de l'École centrale; M. Cahen, ingénieur inspecteur de la traction au chemin de fer du Nord, M. de Maupou, ingénieur attaché à la compagnie des Messageries impériales, à la Ciotat; et M. Elwell, attaché à la construction des phares : ce sont là des pertes très-sensibles. Ces ingénieurs étaient pleins d'avenir, leur situation leur ouvrait la voie d'une carrière où le succès ne dépend plus que de soi.

Un des deux membres honoraires de notre Société, M. le général Poncelet, est décédé ces jours-ci. Sa vie vous sera dite. Plusieurs d'entre vous aspireront à l'honneur de vous en présenter l'histoire. S'il m'est permis d'exprimer un vœu à cet égard, nul ne paraît plus apte parmi nous que M. Tresca, pour résumer les travaux de M. Poncelet. Ce nom s'attache à l'origine de l'expansion donnée à l'enseignement des sciences exactes parmi toutes les classes d'élèves, du sommet à la base, du savant à l'ouvrier. M. Poncelet fut un des hommes les plus sérieusement utiles de notre époque. Il en était l'un des signes; il l'honore et il en a été honoré. Votre reconnaissance l'avait appelé parmi nous.

A la suite des deuils auxquels la première place est due, mettons les événements qui sont, pour notre Société, un honneur, et pour nous personnellement une grande satisfaction.

M. Yvon Villarceau a été appelé à l'Institut. Un travail récent a prouvé que le savant, l'observateur consciencieux et habile, savait faire contribuer à l'intérêt de la science, les idées et les ressources de l'ingénieur.

Le grand prix de mécanique a été décerné à M. Tresca par l'Académie des sciences. Lui aussi, nous l'espérons tous, obtiendra bientôt la noble récompense due à ses énergiques et savantes études.

L'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale a été reconnue d'utilité

publique. Cette association qui aura, sans nul doute, une portée morale considérable et qui pourra apporter un secours précieux aux jeunes ingénieurs, a pris désormais sa place dans les institutions utiles à notre profession.

Cette année, le nombre des membres de notre Société s'est augmenté de 119 : il est maintenant de 903, et la Société a atteint par ses travaux une notoriété qui doit lui valoir les adjonctions les plus honorables. Cela dépend beaucoup de nous et à ce point de vue, peut-être, est-il bon de rappeler les conditions d'admission et d'examiner notre intérêt d'accroître le nombre des membres.

« Les membres sociétaires sont choisis parmi ceux qui exercent ou qui ont exercé la profession d'ingénieur. »

« Les membres associés parmi ceux qui s'occupent spécialement de l'étude des sciences qui se rapportent à l'art de l'ingénieur, ou parmi les industriels ; » mais le nombre des membres associés ne doit pas excéder le cinquième des membres sociétaires. Or la Société n'en possède que 24 : elle en pourrait avoir 180.

Le point de vue qui doit dominer dans les adjonctions des membres sociétaires est, en première ligne, l'instruction technique. Hors de cette base première, elle ne trouverait aucun point d'appui.

Cela a été, pour votre Société, un élément de vitalité, parce que c'était une condition de consistance, et vous avez dû remarquer avec satisfaction que les sociétés d'ingénieurs les plus fortement constituées ont été, à peine de voir leurs travaux s'éteindre, obligées d'imiter votre exemple.

Elles ont même été plus loin, puisqu'elles accueillent les simples élèves, à la condition que l'ingénieur auquel ils sont attachés garantisse leur instruction.

La seconde base d'admissibilité est l'exercice de fonctions qui se rattachent aux services publics, ou à l'industrie générale, ou même l'exercice d'une profession dans une industrie spéciale. C'est sur ce dernier point que les adjonctions s'opèrent dans des limites moins précises que celle de l'instruction technique exigée dans les jeunes ingénieurs. En effet, vous accueillez parmi vous, sans examen, sans discussion, au sortir de l'école, l'ingénieur diplomé de l'École centrale, l'ancien élève de l'École polytechnique, l'externe diplomé de l'École des mines et des ponts et chaussées ; mais vous examinez avec beaucoup plus de soin les titres de l'ingénieur dont les antécédents, comme instruction, ne sont établis que par les fonctions mêmes qu'il remplit, par la profession qu'il exerce, ou par les travaux qu'il a faits. Vous ne vous arrêtez pas à ce que ces travaux peuvent avoir quelquefois de trop spécial, pourvu qu'ils rentrent dans la catégorie de ceux auxquels l'art de l'ingénieur est intéressé, ou qu'ils exigent une part des notions d'application de notre profession.

Laissez-moi attirer votre attention sur ce point, car vous avez donné à votre comité la preuve d'une confiance entière en accueillant toutes ses propositions d'admission ; pas une abstention, pas un vote d'opposition ne s'est produit parmi vous. Sans doute vous avez pu savoir que votre comité exerçait un contrôle vigilant sur les demandes d'admission et que toutes ne recevaient pas de lui le même accueil. Vous n'avez pas été saisis de ses refus, parce que le secret de ses actes à cet égard est imposé, ou qu'il a su prévenir les candidatures inadmissibles. Si cette confiance de votre part implique une certaine responsabilité pour le comité, elle nécessite de la part de ceux qui proposent des adjonctions de demander préalablement quelques conseils sur l'admissibilité de celui qu'ils veulent patronner. C'est en procédant de cette manière qu'ont été évitées les exclusions. Mais pour agrandir votre sphère d'action sur les adjonctions désirables, il importait de vous dire ces choses. Notre Société a intérêt à

accueillir et même à rechercher les hommes qui ont emprunté au travail leur instruction, qui se sont faits ainsi eux-mêmes. S'ils occupent des situations qui les mettent à même d'aider les premiers pas des jeunes ingénieurs, s'ils ont les notions théoriques indispensables à la direction de leurs travaux, s'ils peuvent apporter ici des lumières spéciales, s'ils peuvent être consultés avec fruit par les ingénieurs sur des moyens, des procédés, des méthodes qui intéressent l'art, si enfin, avec des antécédents irréprochables, ces hommes-là entrent ici, loin de nous affaiblir, ils complètent notre Société et accroissent la valeur pratique de nos discussions. Ces discussions ont, vous le savez, un caractère distinct, c'est celui de chercher, à tous les faits de l'industrie, une base théorique, de demander à toutes les formules leur origine, de ne rien accueillir sans cela. Elles sont donc suffisamment savantes. Elles sont dignes parce que vous ne souffrez pas qu'un intérêt de spéculation directe, fondé sur la publicité de nos travaux, apporte ici le prospectus ou la réclame. Vous voulez que la science soit le passe-port des communications que vous écoutez; qu'elle les couvre de sa dignité et de son impartialité, et ce sentiment nous a complétement préservés de ces débats hostiles et vulgaires qu'élèvent des intérêts trop personnels.

L'adjonction des industriels rentrant dans la catégorie des membres *associés* présente encore un peu plus de vague et cela explique le petit nombre qui fait partie de notre Société. Les hésitations de votre comité à cet égard sont faciles à comprendre : ce comité, que vous renouvelez tous les ans avec quelques légères modifications dans sa composition, voit sans doute dans cette réélection presque continue une preuve de confiance, mais c'est peut-être une raison de plus pour que l'accord le plus complet de vues et de sentiments existe entre vous et lui sur cette première condition de votre existence, *les limites* de *l'admissibilité*. S'il m'est permis d'émettre une opinion personnelle, nous n'avons pas assez fait de propagande. Depuis que nous avons dû à M. Pétiet l'adjonction considérable des présidents des six compagnies de chemins de fer et de quelques grands industriels, nous nous sommes arrêtés : cela exige des démarches personnelles, des soins, du temps, et vos présidents sont insuffisants dans cette tâche, s'ils ne sont pas puissamment secondés par vous.

Il importe de vous faire apprécier l'intérêt que notre Société a à voir s'augmenter le nombre de ses membres. Sans doute le premier intérêt est de donner à ses travaux et à ses discussions une valeur toujours en rapport avec le progrès des sciences et de leurs applications; mais c'est là un intérêt purement moral que nous comprenons tous de la même manière. Je veux ici parler de l'intérêt matériel et je le résume dans le résultat suivant : pour donner place aux communications, je ne dirai pas utiles, je dirai indispensables, si nous voulons suivre les progrès de l'industrie, et pour donner à vos discussions l'étendue que ces communications comportent, des séances hebdomadaires sont nécessaires. Or, chacune de ces séances, quelque résumés que puissent en être les procès-verbaux, ne coûte pas moins de 150 francs. C'est une addition à votre budget de 3,600 francs. Aujourd'hui cette addition de dépense est impossible et vous avez pu distinguer par les résultats de l'exercice 1867 qui vous ont été lus à votre dernière réunion par notre trésorier, que l'exercice 1868 risquerait d'être entamé par les dépenses de 1867, si nous n'avions pas à attendre le concours de quelques compagnies qui ont attaché un grand intérêt à certaines communications, telles que celles sur les endiguements des relais de mer, celles sur les résistances à l'écoulement du gaz dans les conduites, sur les manutentions du charbon dans les ports, celle enfin du mémoire sur le concours ouvert par M. Perdonnet.

La cotisation de 24 francs ne laisse aujourd'hui de disponible, pour pourvoir aux

dépenses sociales, qu'une part de 12 francs, le reste étant absorbé par les seules publications et affranchissements pour les membres exonérés. Ce chiffre se réduit à 8 fr. Il en résulte que pour couvrir les dépenses des séances hebdomadaires, un peu plus de 300 adjonctions nouvelles seraient nécessaires.

Les séances hebdomadaires ont un avantage. Les discussions ne perdent rien de leur intérêt à huit jours de distance. A quinze jours, elles sont séparées par un trop long intervalle. Les séances hebdomadaires permettent d'accueillir un plus grand nombre de communications et surtout de les faire suivre d'une discussion. Je n'hésite pas à dire que la Société peut produire annuellement 80 à 100 communications, tout en laissant à votre bureau le droit, dont il use, d'en écarter ou d'en écourter plusieurs. Les séances hebdomadaires sont aussi beaucoup plus suivies que les séances de quinzaine. Parmi des hommes voués par leur profession à des habitudes sérieuses, obligés pour la plupart, à peine de reculer, de consacrer à l'étude le temps que d'autres consacrent au repos, les séances hebdomadaires deviennent un courant habituel. On le suit. Nos réunions n'ont jamais été plus nombreuses que cette année et principalement pour cette raison. Elles n'ont pas suffi aux communications; plusieurs attendent leur tour. D'ailleurs, si les communications avaient manqué, la présence à nos réunions d'ingénieurs engagés dans les grandes industries aurait toujours permis à votre Président de faire surgir immédiatement des discussions intéressantes sur les questions d'art qui, quoi que nous fassions, restent ouvertes et le seront longtemps encore.

L'affluence à ces réunions amène naturellement la question de l'insuffisance de votre local et particulièrement de cette salle. Votre comité s'en est préoccupé depuis longtemps, mais vous n'avez pu être saisis d'aucun projet définitif. On a agité des combinaisons basées sur l'usage commun du même local par diverses sociétés : l'initiative dans ce cas vous appartenait, parce que votre Société se présente avec la plus forte part en ressources financières disponibles. Mais il fallait un concours de circonstances qui ne s'est pas réalisé.

Il semble qu'aujourd'hui nous approchons plus près du but. Des efforts ont été faits pour concilier les convenances de la réunion, dans le même domicile de la Société des ingénieurs civils avec la Société amicale et avec le Cercle des anciens élèves de l'École Centrale. On a cherché le moyen de concilier l'indépendance de chacune de ces Sociétés avec l'avantage de vastes locaux et de l'économie résultant de la concentration des dépenses administratives et immobilières. Cette année s'achève sous d'heureux auspices à cet égard, toute trace d'incompatibilité ou de dissentement semble avoir disparu, et peut-être ce projet prendra-t-il consistance. Je me permets de manifester ici le plus vif désir que cela s'accomplisse, l'expérience de toute ma vie m'inspire ce désir. J'ai en toute occasion reconnu que nous sommes, dans notre profession, les instruments les uns des autres. Plus l'art et la science progressent, moins nous sommes individuellement complets, moins nous sommes au courant, plus nous avons besoin d'aide, de concours, et surtout du concours des nôtres. Nous ne pouvons faire de grandes choses, si nous y sommes appelés, sans cela. Stéphenson réunissant, dans un banquet, tous ses collaborateurs après la construction des ponts tubulaires métalliques de Conway et de Menai, leur dit : « Ne me complimentez pas comme l'ingénieur créateur de ces œuvres; c'est à nous ensemble qu'elles sont dues; nous sommes un groupe dans lequel se fond l'individualité de l'ingénieur, dont le nom n'est plus que le drapeau, et il n'est plus possible de

rien faire de grand par la science, de grand par l'art et les procédés, sans grouper autour de soi toutes les forces que notre réunion représente. »

Stéphenson avait raison; sa réputation, loin de s'affaiblir du concours scientifique qu'il a demandé à Hodgkinson, s'en est agrandie, parce qu'il a montré, en l'appelant à son aide, un respect pour la théorie dont il avait le sentiment, mais dont il ne pouvait formuler les calculs. Il a été bon pour lui de donner sa mesure, elle était assez belle déjà, et l'opinion lui a rendu en confiance ce qu'il lui montrait en sincérité.

Pour nous, cette nécessité incessante de s'aider des lumières les uns des autres, constitue une association véritable, qui ne peut que gagner et s'étendre par des occasions fréquentes de rapprochement. C'est donc avec une entière conviction de l'urgence d'une solution qui nous réunisse que je vous entretiens de ce projet.

Avant de vous parler du fait considérable qui s'est produit cette année, de l'Exposition universelle, jetons un coup d'œil rapide sur les travaux qui ont principalement occupé vos réunions.

Les grandes entreprises y ont eu leur part habituelle : le percement de l'Isthme de Suez, œuvre française par son fondateur et par ses ingénieurs, est, chaque année, de la part de MM. Lavalley et Borel, l'objet d'une communication de plus en plus attachante par la description des procédés et des résultats obtenus.

Les progrès des chemins de fer sont suivis pas à pas. Nous devons à M. Nordling la description des ouvrages d'art métalliques qui sont les plus saillants entre les constructions modernes de ce genre et dont il est l'auteur; il nous a décrit aussi la nouvelle traversée des Alpes au Brenner.

Nous devons à M. Desgrange les résultats techniques de la traversée des Alpes au Semmering ; à M. Longraire la description de la traversée des Apennins de Bologne à Pistoie ; à M. Debauge un exposé aussi intéressant qu'opportun d'un chemin de fer d'intérêt local ; à M. Marié et à M. Guébhard des détails sur l'application aux locomotives du frein à contre-vapeur, dont la découverte est due à M. Le Chatelier; à M. Simonin la description du chemin de fer du grand Pacifique, et les intéressants détails de MM. Heine et Buel. Nous devons à M. Delesse, ingénieur en chef des mines, la connaissance des données géologiques recueillies à l'occasion des travaux de terrassements des chemins de fer. Enfin, le concours ouvert par M. Perdonnet, sur les résistances à la traction des machines et des trains, a eu pour résultat un travail d'une étendue et d'une importance capitales, dû à MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné. Les facilités que la Compagnie des chemins de fer de l'Est leur a données pour les expériences qui ont servi de base à leur étude, ont puissamment contribué à l'œuvre. Nous devons profiter de l'occasion qui s'offre de témoigner à cette Compagnie et à son Directeur, M. Sauvage, notre reconnaissance pour cette libérale intervention. Le progrès de la locomotion réclame les efforts de tous, et, à cet égard, les compagnies de chemins de fer ont droit aux vives sympathies des ingénieurs et du public, parce qu'elles n'ont jamais voulu garder le secret égoïste des progrès qu'elles obtiennent.

La commission instituée pour apprécier l'étude de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, a, dans plusieurs séances, commencé l'examen de cet important travail ; je puis, sans danger d'indiscrétion, vous dire que l'intérêt qu'il excite sera

agrandi par la comparaison des résultats obtenus sur le chemin de fer de l'Est, avec ceux qui ont été réalisés sur les autres chemins de fer.

Dans l'industrie générale, vous avez été entretenus, par M. Lévy, des belles applications des tubes métalliques au fonçage des puits dans les terrains aquifères, dues à MM. Kind et Chaudron; puis, par M. Le Cler, des méthodes d'endiguement des relais de mer, là où se déposent les vases fertiles que les fleuves entraînent dans leur cours, rendant ainsi à la culture ce qui lui a été dérobé. A ce propos, M. Delesse nous a fait encore entrevoir de quel intérêt peuvent être les études géologiques des fonds sous-marins. Un sujet bien opportun d'études et de discussion s'est montré dans les communications dues à MM. de Mondesir et Lehaître, sur la ventilation mécanique des édifices et locaux habités en commun, et surtout dans les galeries de mines où l'art semble succomber devant l'impossibilité de préserver les mineurs de leurs propres imprudences.

Votre attention a été portée par MM. Foucou et Simonin sur les exploitations de pétrole et sur la production des huiles de schiste. Nous devons à M. Moreau un excellent mémoire sur les manutentions auxquelles le charbon est soumis dans les ports d'Angleterre; à M. Laurent les méthodes d'exécution des sondages de grande profondeur; à M. Mallet deux travaux sur le draguage de la Spezzia et sur la mise à sec des navires; à M. Lissignol une description du nouveau propulseur hydraulique de Rutven; à MM. Bertrand et Addenet l'une des plus ingénieuses dispositions de compteurs pour les voitures en commun; à M. Péligot une très-originale communication sur la fabrication des allumettes chimiques; à M. Rouyer des détails sur l'élagage des arbres, particulièrement intéressants pour la production du bois de charpente. Nous devons à M. Frot une communication sur sa machine à ammoniaque; enfin, nous avons des remercîments à adresser à MM. Jordan, Petitgand, Mathieu et Ivan Flachat, pour nous avoir tenus avec soin au courant des procédés, pour ne pas dire des révolutions, qui s'accomplissent dans la fabrication du fer et de l'acier.

Dans l'esquisse très-sommaire qui précède, je ne vous ai rien dit des communications et des discussions auxquelles l'Exposition universelle a donné lieu dans vos réunions.

Vous avez entendu M. Alcan sur les progrès des industries des tissus, et cela me fournit une nouvelle occasion de le remercier de sa description à la fois originale et lucide des progrès que l'Exposition a révélés dans ces grandes industries. Il nous a fait espérer qu'il la continuerait cette année.

M. Tresca, par le choix heureux qu'il a su faire des machines les plus saillantes et par la description qu'il nous en a donnée, nous a rendu le service de nous guider et d'abréger pour nous leur étude; il a pris cette année dans nos discussions une part toujours savante, toujours élevée par la parfaite distinction du langage, et je ne puis trop dire à quel point je lui suis obligé pour le concours que j'ai reçu de lui, pour donner à nos discussions la direction la plus utile. Les descriptions et les appréciations de M. Pérignon, des machines marines, ont occupé plusieurs de vos séances. Il a été secondé par M. Normand, qui a participé à nos discussions sur ce sujet avec une grande variété d'aperçus. Il s'agit là d'appareils dont la transformation s'accomplit tous les jours, et il sera d'une grande utilité pour nous que ces messieurs continuent leurs utiles communications.

Comme toujours les générateurs de vapeur ont absorbé une large part de votre temps. MM. Thomas et Farcot ont apporté le tribut d'une longue expérience; mais,

bien que vos discussions aient été étendues et animées sur ce difficile sujet, les esprits sont restés incertains. La combustion lente, les grandes surfaces de chauffe ont leurs partisans. La combustion poussée, dans de petits foyers, à toute l'intensité que peut provoquer le tirage forcé, l'emploi presque exclusif du calorique rayonnant, ont les leurs; toujours est-il que ce dernier système appliqué aux machines mobiles exposées a donné des résultats nouveaux comme faculté de production de vapeur. Les machines à vapeur, leur distribution et leur régulation ont amené aussi des débats pleins d'intérêt. M. Salvetat vous a résumé les progrès des arts céramiques appliqués aux constructions civiles, et ceux de la fabrication du gaz d'éclairage vous ont été décrits par M. Arson.

Mais vous n'avez entendu qu'une partie des travaux sur l'Exposition universelle dus aux membres de cette Société.

L'organisation en sections, suivant les classes de produits, a amené des réunions et des discussions qui seront suivies de rapports et qui donneront lieu à des communications, dont l'intérêt sera d'autant plus vif qu'elles auront été le produit de travaux collectifs et étendus.

La 9e section présidée par M. Chobzinsky; la 11e, présidée par M. Petiet; la 16e, présidée par M. Callon; la 20e, présidée par M. Mayer; la 21e, présidée par M. Vuillemin; la 23e, présidée par M. Love, ont fonctionné régulièrement pendant le cours de l'Exposition.

Je citerai les mémoires de M. Boudard, sur l'industrie du cuivre; de M. Grand, sur les mines et la métallurgie russe.

Celui de M. Agudio, sur le système de traction, dont il est l'inventeur; le mémoire de M. Sambuc, sur les voies métallurgiques, et l'important travail de M. Rancès, sur le matériel fixe des chemins de fer.

176 membres de cette Société ont exposé.

Le nombre des membres récompensés a été de 126.

Le nombre des récompenses a été de 178.

La supériorité du nombre des récompenses, sur celui des récompensés, s'explique par le fait que plusieurs en ont mérité plus d'une dans diverses industries ou par des produits divers.

Ces récompenses se composent de la manière suivante :

Hors concours, 18; grands prix, 7; médailles d'or, 43; médailles d'argent, 65; médailles de bronze, 32; mentions honorables, 13.

La Société a été honorée dans plusieurs de ses membres des trente décorations suivantes :

Ont été promus officiers de la Légion d'honneur : MM. Dailly et Du Pré. Ont été nommés chevaliers : MM. Albaret, Bouilhet, Chabrier, Caillet, Daguin, Darblay, Didierjean, Farcot, Lefèvre, Love, Richard, Sautter, Simonin et Vignier. Enfin, quatorze décorations étrangères ont été décernées à MM. Petiet, Vuillemin, Mathias (Félix), Thouin, Loustau, Romme, Mathieu (Jules), Desgrange, Delaunay, Lebrun (Reymond), Rey, Jacquin et Callard.

Résumons maintenant, messieurs, les conséquences de l'Exposition universelle au point de vue de notre profession. Il est incontestable qu'elle a jeté sur l'industrie manufacturière une lumière aussi vive qu'inattendue; qu'elle a révélé l'intérêt considérable que les nations avaient à connaître les procédés, les instruments de pro-

duction de chacune d'entre elles; il est devenu manifeste qu'à côté d'une marche très-rapide des nations civilisées dans la voie du progrès, ce progrès ne consiste pas seulement dans la propagation des méthodes identiques de produire, mais que des moyens spéciaux, originaux, pour ainsi dire spontanés, se montrent de tous côtés comme des points plus lumineux dans un espace déjà brillant de lumière. Ce grand résultat démontre que, dans l'avenir, de tels concours s'imposeront plus que jamais à l'industrie. S'ils étaient supprimés ou même rejetés à des intervalles trop longs, le mouvement civilisateur fondé sur l'accroissement du travail en souffrirait. Ce qui souffrirait encore ce seraient tous les intérêts commerciaux du continent. Sans aucun doute, la part la plus étendue du travail, après celle qui s'attache aux besoins de l'intérieur du pays, est celle qui amène les échanges entre les nations de notre hémisphère; mais une autre part, qui tous les jours s'accroît, est celle qui nous intéresse aux progrès de la civilisation en Orient ou en Amérique. Là, d'immenses territoires et d'immenses populations s'associent, par leurs moyens de production et par leur consommation, au travail qui nourrit nos classes productrices. Les centaines de millions échangés annuellement entre les deux hémisphères en font foi.

A cet avenir nouveau de relations, une nation, quelque riche qu'elle soit, l'Angleterre elle-même qui a su prendre l'avance parce qu'elle est entrée la première en lice, ne peut suffire. Tout notre continent y contribuera. Les peuples les plus avancés sont associés dans l'œuvre de l'avénement à la civilisation par le travail des nations qui le sont moins. Voyez combien l'époque où le travail libre des nations est éclos est encore rapprochée de nous. Quand il était esclave il déshonorait; même libre, tout à l'heure encore, il faisait déroger. Dirai-je qu'il y a des villes en France où l'ignorance soutient encore ce préjugé. Cependant le voilà le maître de la société, il devient la base de tout progrès moral et matériel, sa mission humanitaire prend des développements inattendus; il fusionne les hommes, les mœurs, les idées, les territoires, les besoins, partout où il paraît. Que pourraient donc à côté de ce courant immense les mécomptes d'un jour. Sans aucun doute la grande œuvre de l'Exposition universelle laisse à beaucoup de vifs regrets; on se plaint d'avances sans compensation immédiate. Sa grandeur même, si imprévue, en est la cause. Fondée avec des ressources financières restreintes, elle a imposé aux exposants d'énormes dépenses de transport et d'installation. Les combinaisons qui semblaient, à l'origine, des moyens rationnels de diminuer les dépenses, sont devenues de mesquines et douloureuses entraves. L'Exposition permettait une immense récolte de lumière et la publicité devait être le moyen le plus efficace de la recueillir; mais la publicité a été frappée dans son germe par un privilége dont le cessionnaire n'a même pas su faire usage; les catalogues descriptifs ont manqué; ils auraient dû pulluler aux prix de quelques centimes. Il ne suffit pas de montrer à la vue, il faut décrire ce qui ne s'explique pas de soi, à peine de transformer les curieux en simples promeneurs. Or, l'aspect de l'Exposition nous a montré que la difficulté pour le public était, la plupart du temps, de comprendre ce qu'il avait sous les yeux. L'Exposition, il faut bien le dire, n'a été un utile et incomparable foyer de lumière nouvelle que pour ceux qui savaient; le défaut de publicité, l'absence de publicité a laissé dans l'ignorance ceux qui ne savaient pas. Il est des traits caractéristiques de cette ignorance. Dans une réunion choisie on posa aux dames, dont la plupart avaient passé bien des heures à l'Exposition, cette simple question: « Avec quoi coupe-t-on le fer? » aucune ne savait que c'était avec l'acier. Combien d'hommes, dans la plus haute société, sont dames à cet égard. Pas un copeau de fer n'est, il est vrai, sorti de l'Exposition. Les machines à travailler le fer

sont restées inactives. De toutes parts l'insuffisance de l'allocation financière faite à l'Exposition a éclaté. Pouvait-il en être autrement? Que ceux qui ont prévu la grandeur du mouvement auquel elle a donné lieu aient la hardiesse de le dire; quant à nous, voyons-y l'occasion d'un enseignement pour l'avenir, mais loin de nous l'idée d'en faire l'occasion d'une critique.

Dans la revue des événements de l'année qui vient de s'écouler, qui nous intéressent directement, il en est deux que je ne puis passer sous silence : l'un est le rapport de M. le Ministre des travaux publics sur les moyens d'accessibilité des conducteurs de travaux aux grades d'ingénieur au service de l'État. Un grand nombre de nous a commencé par ces fonctions; beaucoup y sont encore engagés et le développement certain des services publics en attirera toujours un nombre important, car cette école et celle des ateliers est indispensable à l'ingénieur. Jusqu'à ce jour, cependant, c'était une position sans issue directe, aujourd'hui l'avenir s'ouvre. D'ailleurs ce n'est pas ici une concession à un principe simplement libéral, c'est un besoin auquel le Gouvernement répond. Depuis vingt ans les services publics sont transformés; les chemins de fer, dont les ingénieurs civils ont été les premiers et les plus ardents promoteurs, ont remplacé, en grande partie, les autres moyens de circulation. L'immuabilité des institutions administratives a fait que les hommes placés au premier rang pour y prendre part n'y sont entrés que sur le tard, partiellement et sans y être encouragés par leurs chefs. De plus, entre la construction et l'exploitation, celle-ci a pris le premier rang en importance et en difficulté; les ingénieurs civils y ont consacré tous leurs efforts. Dans cette transformation, les routes impériales disparaissaient, elles devenaient routes locales; les voies navigables voyaient leur rôle diminuer en se spécialisant à de certaines natures de transport. Or, pendant que les routes et les voies navigables prenaient ainsi une place secondaire, l'instruction de l'ingénieur de l'État s'accroissait avec le progrès scientifique, et, cependant, ceux-ci voyaient diminuer le champ de leur activité. De grandes forces morales étaient perdues; l'utilisation d'un nombre considérable d'hommes instruits était paralysée: une réforme était nécessaire. Sur quel terrain devait-elle s'accomplir? Entre laquelle des deux directions fallait-il choisir? Celle des ingénieurs quittant définitivement ou temporairement leur caractère officiel, pour entrer dans l'industrie des chemins de fer et l'exerçant sous l'empire du droit commun qui laisse à chacun la responsabilité de ses actes? ou bien fallait-il imposer à l'industrie, comme guides, les hommes officiels? Fallait-il, dans ce cas, continuer à les couvrir par la juridiction exceptionnelle qui ne les expose à la responsabilité de leurs actes que du consentement de l'État. Le choix était difficile et l'Administration a bien agi en voulant qu'il fût spontané de la part de l'ingénieur quittant l'administration pour entrer dans l'industrie. Toujours est-il qu'aucun n'en a été effrayé et que ceux-là, sans exception, ont adopté largement et sincèrement les intérêts nouveaux auxquels ils s'attachaient. Dans ce nouveau rôle, ils n'ont montré que des sympathies pour les ingénieurs civils en ce qui concernait les fonctions spéciales qui demandent, outre l'instruction de l'ingénieur, une aptitude que le temps, la persévérance et le passage par tous les postes successifs peuvent donner. Ces fonctions sont celles qui s'attachent plus particulièrement à l'Exploitation, et aujourd'hui, on peut, sans crainte d'être contredit, affirmer que si, d'un côté, les ingénieurs de l'État ont adopté l'industrie et les ingénieurs civils, ceux-ci ont été des auxiliaires habiles et estimables.

Ce fait incontestable montrait l'intérêt de faire pénétrer l'instruction dans les

grades inférieurs des services de l'État, mais celle-ci n'y pouvait entrer qu'à la condition qu'elle conduirait à mieux qu'à un poste inférieur. Telle était la situation, tel était le terrain que nous avions gagné.

L'idée de graduer l'instruction d'après l'emploi et de faire ainsi des fonctions les échelons des situations ascendantes de l'ingénieur, est née de l'énorme distance qui existe entre l'entretien des routes ou le curage des cours d'eau, et les grands travaux de construction ou d'hydraulique qui exigent l'instruction la plus complète; idée féconde en ce sens qu'elle offre un stimulant continu et que le succès dépend presqu'à coup sûr de l'intelligence et du caractère.

L'industrie avait ouvert ses rangs aux ingénieurs de l'État; l'État a ouvert ceux de ses ingénieurs aux hommes sortant de l'industrie. Il impose la garantie de l'instruction et de l'honorabilité, il le doit à l'intérêt et à la confiance du public.

Ce n'est pas le lieu d'examiner si, comme fonctionnaire ou comme industriel, l'ingénieur trouve un avantage à rentrer dans la juridiction commune ou à en sortir. Cette question a perdu son importance. Sous l'empire de la juridiction commune à tous, les ingénieurs de l'État, venus dans l'industrie, et les ingénieurs civils ont exécuté dix fois plus de travaux qu'il n'en a été fait depuis soixante années, sous l'empire d'une juridiction spéciale. Si cette dernière vit encore, elle a cessé d'être un besoin; l'intérêt d'une discussion rétrospective est éteint par ce seul fait.

Le second acte émané du même Ministre, le choix de M. Petiet, pour la direction de l'École centrale des arts et manufactures, n'a-t-il pas le même caractère? Conserver à cette institution son origine industrielle en choisissant un de ses élèves pour la diriger ; donner le stimulant de l'exemple dans celui des ingénieurs sortis de cette École, qui a le plus payé de sa personne comme chef de l'une des plus importantes exploitations de chemins de fer ; lui laisser à la fois les fonctions que l'intérêt public ne peut confier en de meilleures mains et celles dans lesquelles l'esprit de ses œuvres et de ses antécédents doit se transmettre à de jeunes élèves appelés à l'imiter, c'est un acte qui constate un grand sens de notre époque et une vraie libéralité.

Il ne me reste plus qu'un mot à dire pour achever. Je vous ai toujours entretenus, quand l'occasion s'en est offerte pour moi, du point de vue où se place le Gouvernement dans l'exécution des services techniques qui touchent à notre profession. La session qui s'est ouverte en novembre a donné lieu à un nouvel exposé de la situation de l'Empire, qui contient habituellement, vous le savez, une revue pleine d'intérêt des travaux accomplis et du but que poursuit l'État. J'attirerai spécialement l'attention sur les chemins de fer d'intérêt local. Les dispositions de l'administration d'accepter les conditions d'exécution les plus propres à réduire les frais d'établissement ne paraissent pas douteuses. Un grand nombre de départements ont décidé l'étude de lignes qui ne peuvent espérer de succès que d'une extrême économie de construction et d'exploitation. C'est là une mine ouverte à votre activité. Dans l'année 1867, les subventions allouées se sont élevées à 12,707,852 fr. pour 435 kilomètres.

Le Gouvernement manifeste aussi l'intention de donner à des compagnies la concession de lignes télégraphiques entre l'Amérique et la France. Il a maintenu, dit-il, et ici je ferai remarquer que ce n'est pas M. le Ministre des travaux publics qui parle, « il a maintenu, dis-je, la résolution d'appliquer, dans la mesure que

commande l'intérêt du pays, le principe de libre concurrence à l'établissement et à l'exploitation des lignes sous-marines et de n'accorder à aucune Compagnie de droit exclusif. » Cela signifie-t-il que, ne reconnaissant pas d'intérêt public à ces entreprises, l'État n'en attend aucun service et n'entend rien leur donner, ni leur demander? S'il en est ainsi, il est fort à craindre que l'industrie délaissée par son puissant et habituel auxiliaire, recule longtemps devant les éventualités auxquelles cet isolement la livrerait.

Sur la navigation intérieure, le Gouvernement expose des résultats et un but indispensables à connaître pour ceux d'entre nous qui s'occupent de l'application des moteurs à vapeur à la traction sur les canaux.

Je vais, messieurs, céder ce fauteuil à celui que vous avez appelé à m'y succéder. Je puise dans l'unanimité des suffrages que vous lui avez donnés, la confiance qu'il trouvera parmi vous le concours qui m'a rendu si faciles les fonctions de la présidence. Les antécédents de M. Love vous sont une sûre garantie de son dévouement au succès de notre profession, c'est dire de notre Société.

Je termine en vous adressant mes compliments bien sincères pour l'aide que vous m'avez apportée. Je remercie MM. les secrétaires pour leur assistance à nos réunions et pour leurs soins. Enfin, je serais injuste si j'oubliais de vous signaler les services de tous les instants que j'ai reçus de notre secrétaire-archiviste. En possession de toutes nos traditions, dévoué et affectionné à ceux d'entre nous qui s'occupent le plus de nos intérêts, M. Husquin de Rhéville épargne à vos présidents, par une vigilance incessante, tous les détails que comportent leurs fonctions. Malgré l'activité de nos travaux, la publication du *Bulletin* a suivi son cours régulier. Le quatrième qui clôt l'exercice sera distribué vers la fin de ce mois; cette exactitude est due à ses soins.

M. Flachat cède le fauteuil de la présidence à M. Love, qui prononce le discours suivant :

Messieurs et chers Confrères,

S'il est une distinction qu'à mon avis nous devions préférer à toutes celles qui peuvent nous advenir, et que, pour mon compte, je place au-dessus de tout, c'est l'honneur d'être appelé par des suffrages sympathiques et à peu près unanimes à la présidence de cette Société. La raison en est que des circonstances heureuses, les relations, la volonté même d'une seule personne, peuvent aider beaucoup dans l'obtention des honneurs que les hommes recherchent avec plus ou moins d'empressement; tandis qu'ici vous ne devez vos suffrages et vous ne les donnez qu'à ceux dont vous avez pu suivre la carrière dès le début, et que vous honorez, en définitive, parce qu'ils honorent la profession à laquelle vous appartenez.

Tels sont, messieurs et chers confrères, la signification et le prix que j'attache à l'élection qui m'a appelé à vous présider cette année. Vous avez été pour moi prodigues de vos suffrages. Aussi, quoique je ne sois arrivé à ce poste d'honneur que dans ma cinquantième année, je crois pouvoir dire *que je n'ai rien perdu pour attendre*; je vous en remercie bien cordialement. Soyez persuadés qu'à mon tour je ne vous épargnerai ni mon temps, ni mon dévouement; et si, malgré mes efforts, je

reste au-dessous de ce que vous attendiez de moi, il faudra l'attribuer à quelques circonstances particulières qui auront rendu ma tâche relativement difficile.

Il en est une que je puis dès à présent vous signaler, avec l'assurance qu'elle me vaudra facilement de votre part le bénéfice des circonstances atténuantes. C'est celle qui me fait succéder à l'un des principaux fondateurs de cette Société, au célèbre ingénieur que vous avez appelé sept fois à vous présider depuis 1848, et qui s'en est toujours acquitté avec une telle supériorité, que vous auriez sans doute pensé à faire de lui votre président perpétuel, comme ailleurs on fait des secrétaires perpétuels, si vos statuts l'avaient permis et si une pareille tâche n'était au-dessus des forces humaines.

L'idée est venue à beaucoup d'entre nous, après la présidence laborieuse, habile et dévouée qui prend fin aujourd'hui, mais qui tiendra une si grande place dans nos comptes rendus, d'offrir à M. Flachat la présidence honoraire de cette Société. Je suis heureux de pouvoir vous transmettre cette pensée au nom du Comité, en vous avertissant que je provoquerai, à la fin de la séance, le vote, je devrais dire l'acclamation, qui doit acquitter notre dette de reconnaissance.

Les termes dans lesquels j'ai eu le devoir et le plaisir de vous entretenir de M. Flachat me ramènent naturellement au point de vue personnel que je vous signalais tout à l'heure, et me permettent de vous faire remarquer à quelle distance je me trouve de lui, quel périlleux honneur que de lui succéder ! J'espère que vous en tiendrez compte dans l'appréciation des services que je tâcherai de vous rendre, et que vous accueillerez mes efforts avec autant de sympathie que d'indulgence.

Je vous entretiendrai maintenant des travaux auxquels je voudrais vous voir accorder votre attention d'une manière spéciale, de l'avenir de notre Société, de la direction à suivre pour l'assurer de plus en plus et donner à notre profession la place qui lui est due.

Nos travaux sont de deux sortes : ou bien ils rendent compte dans des mémoires détaillés accompagnés de figures, des solutions particulières données aux problèmes nombreux et variés que l'industrie, le commerce et les travaux publics nous posent incessamment ; ou bien, prenant un caractère plus élevé, ils résolvent des questions ayant à la fois un cachet scientifique et pratique qui leur assure une utilité générale et permanente. C'est à ces derniers que la préférence semble devoir être donnée dans l'attribution de la récompense accordée au meilleur mémoire parmi ceux que nous publions chaque année ; quant aux autres, ils en approcheront d'autant plus qu'ils représenteront plutôt une méthode d'exécution susceptible d'être généralisée qu'une solution ingénieuse appliquée à un cas absolument particulier.

C'est ainsi que notre camarade, M. Arson, a très-légitimement obtenu la préférence pour son remarquable mémoire sur le frottement des gaz dans de longues conduites, malgré le mérite incontestable des autres travaux auxquels la Commission de la médaille d'or a cru devoir donner une très-honorable mention.

D'après ce point de vue émis par M. Flachat et auquel la dernière commission s'est ralliée à l'unanimité, je citerai parmi les travaux qui vous paraîtront sans doute susceptibles d'être rangés dans cette catégorie : la détermination définitive de l'équivalent mécanique de la chaleur ; la rectification de la théorie de la détente, et, partant de là, l'établissement de la valeur relative, comme véhicule de la force, de l'air chauffé, de la vapeur d'eau, de l'ammoniaque, etc. ; enfin, les expériences tendant à asseoir la théorie de la résistance des matériaux sur une base de plus en plus large et solide.

Dans les travaux d'une nature plus spéciale je noterai : les perfectionnements ap-

portés ou à réaliser dans l'engin principal des chemins de fer, la locomotive, le matériel roulant, les divers systèmes de voie; je mentionnerai encore les chemins de fer d'intérêt local, les questions de drainage, d'irrigation, de barrage, d'endiguement; celles si graves des inondations périodiques des grands fleuves qui, à la place du limon fertilisateur, n'apportent trop souvent que du sable en grevant la fortune publique, par les désastres qu'ils occasionnent, de pertes qui se chiffrent par centaines de millions.

Je passerai rapidement en revue quelques-unes des questions que je viens d'énumérer.

Dans un mémoire publié en 1861 par M. Havrez, ingénieur des mines en Belgique, dans la Revue universelle des mines de la métallurgie et des travaux publics, l'auteur est arrivé à cette conclusion, que les notions admises sur la détente de la vapeur d'eau ne sont pas tout à fait d'accord avec la pratique, conclusions auxquelles j'étais moi-même arrivé l'année précédente. La théorie admet, et des expériences sans doute imparfaites confirmeraient que la loi de Mariotte se vérifie à tous les instants de la détente; d'où il résulterait que plus on détend plus on gagne, et si bien, qu'avec une quantité de chaleur finie on produirait un travail infini. En signalant cette conséquence extrême, qui, par son caractère irrationnel, prouve qu'il y a quelque chose de faux dans le point de départ, je ferai, en outre, observer avec M. Havrez que la pratique a montré le peu d'avantage que l'on trouve à détendre au delà de cinq ou six fois le volume primitif, et que, dans ces limites, il doit y avoir entre le travail réel de la détente et le travail supposé, un écart assez grand pour appeler l'attention des praticiens et provoquer quelques rectifications.

La connaissance exacte de l'équivalent mécanique de la chaleur importe encore plus au progrès de l'art, puisque cet élément est le véritable critérium d'après lequel nous pourrons juger de la valeur absolue des vapeurs d'eau, d'ammoniaque, etc., et des gaz employés comme agents moteurs. Les déterminations qui en ont été faites offrent des différences assez grandes pour qu'il soit à désirer qu'un travail de fond et de critique vienne nous éclairer définitivement sur celui que nous devons adopter. En effet, les résultats trouvés jusqu'à présent sont les suivants:

MM.	Clément, Desormes et Regnault	480 kilogrammètres
	Clausius, Person, Bourget et Combes.	414
	Mayer et Séguin ainé.	365
	Joule et Hirn.	430
	Laboulaye	140

Trois éléments sont nécessaires pour contrôler les divers résultats auxquels on est arrivé. La quantité dont se dilate, sous la pression atmosphérique, un volume d'air déterminé en même temps que la température s'élève d'un degré; sa capacité calorifique, l'élévation de température que prendrait cette quantité d'air ramené à son volume primitif.

La capacité calorifique de l'air et sa dilatation semblent avoir été fixées définitivement d'après les dernières expériences de M. Regnault. Mais le dernier élément qui a été fourni par Dulong n'est pas le résultat de l'expérience. Il n'échappera à personne que c'est le plus important, puisque c'est à la quantité de chaleur à laquelle il correspond et qui disparaît, qu'est dû le travail d'expansion de l'air, d'où l'on peut tirer la valeur de l'équivalent mécanique.

La détermination de ce dernier élément est un travail de physicien; mais il inté-

resse assez les ingénieurs pour que ceux qui se trouveraient en situation de s'en charger n'en laissent pas indéfiniment le soin à d'autres.

Chacun sait que l'eau vaporisée n'est pas un véhicule économique de la force motrice, par le motif que la plus grande quantité de chaleur absorbée est employée à lui donner la constitution gazeuse sous laquelle elle agit dans les machines. Ainsi, sur 636 calories qui constituent l'eau à l'état de vapeur à 100 degrés, il y en a 536 environ, c'est-à-dire les 5/6e neutralisés par une sorte de combinaison, perdue comme pouvoir mécanique.

De cette observation est sortie l'idée de rechercher si les gaz ayant comme l'air une faible capacité calorifique, ou d'autres vapeurs ayant à la fois une plus faible capacité calorifique et une chaleur dite latente inférieure à celle de l'eau, ne donneraient pas un rendement plus favorable du calorique produit.

Les machines à air ont été tentées sous deux formes : on a comprimé l'air dans des récipients et on l'a fait agir sur un piston comme la vapeur. Les machines d'Andraud, auteur d'un système de chemins de fer à air comprimé appartiennent à la première catégorie ; ou bien on a chauffé l'air pour profiter de son expansion. Cette manière de l'utiliser a donné naissance à la machine d'Ericson et plusieurs autres machines d'invention française, entre autres celle de M. Belou, qui ne paraissent pas avoir joui d'un succès bien retentissant. Andraud n'a pas été plus heureux avec sa machine locomotive à air comprimé à vingt atmosphères.

On peut facilement se rendre compte de la plupart des causes, d'ailleurs, assez nombreuses, qui ont amené les échecs éprouvés jusqu'ici par ces divers systèmes. L'absence ou la connaissance imparfaite d'une bonne et simple théorie mécanique de la chaleur y est entrée sans aucun doute pour une certaine part. En tous cas, il ne semble pas que l'on doive renoncer à l'espoir de trouver une bonne machine à air. C'est une question qui doit, à mon avis, rester à l'étude, et au sujet de laquelle une communication d'un membre de cette Société ne peut manquer d'être bien accueillie.

Devons-nous condamner sans retour les machines à vapeurs combinées comme on nous le disait dernièrement? Je ne le pense pas; car, théoriquement, ces machines peuvent présenter de très-grands avantages. Il suffirait de trouver un liquide se volatilisant à basse température, comme les éthers sulfurique et chlorhydrique, n'ayant comme eux qu'une faible chaleur latente et exempt des inconvénients que l'on reproche, à juste titre, à ces substances. Espérons qu'un bon mécanicien doublé d'un bon chimiste trouvera, un jour ou l'autre, parmi les substances nouvelles que la science met tous les jours à notre disposition, celle qui résoudra le problème.

En attendant, la profession s'est enrichie, grâce à M. Frot, d'un quatrième moyen d'utiliser la *force* par l'emploi du gaz ammoniac, tour à tour gazéifié et dissous, système auquel les tentatives faites avant lui n'avaient réussi à donner aucun caractère pratique. Quoique l'on puisse contester, dans une certaine mesure, les résultats économiques comparatifs qu'il nous a présentés, et élever des doutes sur la chaleur latente qu'il attribue à l'ammoniaque dissous dans l'eau, on ne peut contester que sa machine n'ait déjà donné de bons résultats. Je suis persuadé que la Société suivra avec intérêt les nouvelles expériences que M. Frot ne manquera pas d'effectuer pour faire ressortir son invention avec tous les avantages qui paraissent lui appartenir.

Les phénomènes de force incomparable produits par l'électricité ont depuis longtemps fait naître l'idée de maîtriser cet agent et de le faire servir comme la vapeur aux besoins de l'industrie. Les efforts tentés jusqu'à présent n'ont guère abouti, je pense, qu'à produire des machines plus curieuses qu'utiles, la force obtenue coûtant

beaucoup plus cher que celle réalisée par d'autres moyens. On m'a assuré pourtant qu'il existait à l'Exposition des machines de plusieurs chevaux qui pourraient être d'un emploi profitable pour l'industrie parisienne qui a besoin, par intermittence, de faibles forces et par suite d'un système mécanique qui ne dépense qu'au moment du travail. Une communication sur ce sujet vous paraîtra sans doute désirable.

Que devons-nous penser de l'emploi direct de l'électricité comme force motrice? Faut-il nous ranger de l'avis des personnes qui, l'ayant essayée et n'étant arrivés qu'à des résultats peu encourageants, ont conclu qu'il n'y avait rien à faire de ce côté. Gardons-nous-en bien. Car, si nous nous reportons aux nombreuses idées qui ont été déclarées impraticables par les hommes en apparence les plus autorisés, et que nous voyons aujourd'hui amenées à l'état de pratique courante, nous devons en conclure que l'esprit humain n'a pas la portée qu'il faudrait pour juger du premier coup et en dernier ressort une idée nouvelle, quelle qu'elle soit, ni fixer une limite à son expansion, aux applications auxquelles elle peut donner lieu. Qu'adviendra-t-il, par exemple, de la découverte de notre camarade M. Revellat, qui va permettre de construire à bon marché des bobines d'induction agissant sous l'influence du magnétisme terrestre? Ces bobines d'une intensité qui semble devoir être considérable, ne permettront-elles pas de puiser dans la planète qui nous supporte une force à peu près gratuite? Remarquez qu'il n'y a rien dans cette supposition de bien extraordinaire; car elle n'indique, en définitive, que la possibilité de tirer des courants *électriques* naturels, un parti analogue à celui que nous avons déjà su tirer depuis longtemps des courants *aquatiques* et *atmosphériques*.

Qui peut prévoir, d'ailleurs, ce que l'on pourra obtenir de l'électricité, quand on l'aura dégagée des hypothèses et des théories diverses qui en obscurcissent la notion. Le fait est qu'aujourd'hui l'étude de cet agent aussi puissant qu'étonnant est, pour tout esprit logique, rebutante à force de contradictions et d'illogismes. Pour vous en faire une idée juste, il suffira de vous rappeler que tandis que plusieurs membres éminents de l'Institut considèrent les théories qu'ils ont adoptées sur l'électricité, non comme des hypothèses plus ou moins ingénieuses, mais comme l'expression de la réalité, d'autres sont d'un avis absolument opposé; et des professeurs m'ont avoué qu'ils ne considéraient celles qu'ils enseignaient, que comme un moyen commode, en attendant mieux, de retenir et de relier entre eux les faits nombreux qui se rapportent à ce sujet intéressant. Enfin le chaos va si loin, qu'aujourd'hui, à côté de savants qui reconnaissent la *réalité* du fluide électrique, il y en a d'autres qui le nient et pensent que l'électricité n'a aucun corps, que c'est du *mouvement* et rien de plus. On peut faire remarquer à propos de cette opinion, et sans être métaphysicien, que l'idée de mouvement veut un *substratum*. Cette idée, en effet, n'est rien si nous ne la complétons par celle d'un corps déterminé auquel elle s'applique. La mécanique nous enseigne d'ailleurs, et la pratique confirme, que là où nous trouvons un corps en mouvement, nous devons en trouver et en trouvons nécessairement un autre qui le lui a imprimé. Or, la foudre ou l'électricité atmosphérique produit des phénomènes mécaniques de transport et autres considérables; donc elle existe, donc elle est matérielle. Le piston d'une machine reçoit son mouvement de la vapeur. Celle-ci, inerte d'abord, se transforme, se met en mouvement, sous l'influence d'un agent que nous avons appelé *calorique*, lequel doit à son tour être matériel par la double raison qu'il s'associe à un autre corps, se combine en quelque sorte avec lui et lui donne le mouvement. En voulez-vous une preuve expérimentale autre que celle qui résulte de cette simple induction?

Faites l'analyse mécanico-chimique de la vapeur. Forcez-la à passer de la chaudière d'Amstrong par un canal formé d'une substance peu apte à s'approprier l'agent dont il s'agit sous la forme calorifique, ou en termes usuels, peu apte à s'échauffer. En même temps faites en sorte, en donnant au canal une forme appropriée, de contrarier, de détruire, dans une certaine mesure, le mouvement dont la vapeur est animée; mettez en face de l'orifice d'où elle doit sortir un conducteur isolé armé de pointes et vous recueillerez les produits de la décomposition de la vapeur : d'une part, de l'eau qui se condensera, et de l'autre une quantité énorme d'électricité dite statique qui s'accumulera à une forte tension sur le conducteur. Cette expérience à laquelle personne n'a jamais donné sa véritable interprétation prouve, à la fois, que le calorique n'est qu'une forme de l'électricité, et que la vapeur est une combinaison d'électricité et d'eau; ou, si vous l'aimez mieux, une dissolution de l'un dans l'autre, et dans laquelle l'un des agents, l'eau, sous l'influence de l'électricité, prend une forme qui se rapproche de celle du gaz.

M. Tyndall a opposé dernièrement à l'idée de *matérialité* du fluide électrique mise hors de doute, à mon avis, par ce qui précède, les expériences de Rumford et de Humphry Davy. Ces expériences sont précieuses, car, analysées et interprétées logiquement et sans parti pris, elles prouvent exactement le contraire de ce que Rumford, Davy et M. Tyndall lui-même ont cru y trouver. La démonstration en est aussi simple que facile.

Je disais tout à l'heure que l'eau, sous l'influence de l'électricité ou combinée avec elle, prenait la forme gazeuse. De là, à se demander si un gaz quelconque n'est pas le résultat de la combinaison d'une base encore inconnue et de l'électricité, il n'y a qu'un pas. Le fait existe et je le démontre par une double expérience que je n'ai pas même eu ni le mérite, ni la peine d'inventer. Ce qui prouve, avec celles que je rappelais tout à l'heure, que ce n'est pas tout que de faire des expériences : il faut en comprendre les résultats et les interpréter sainement.

Prenez un voltamètre et employez-le avec l'attention du chimiste, qui recueille des gaz dans une analyse et qui note attentivement, scrupuleusement tous les phénomènes qu'il observe. Dégagez-vous un instant des errements de la doctrine officielle; n'ayez qu'une teinte légère de ce qui précède et soupçonnez seulement, ce qui pour moi est une certitude, que l'*électricité est une partie constituante de tous les gaz sans exception*; que remarquerez-vous? Que sous l'influence d'un courant électrique, l'eau se décompose et se transforme en deux gaz qui se rendent chacun sous une cloche différente. Voilà, avec la distinction des deux pôles, à quoi se borne l'analyse ordinaire. Mais le principal agent du phénomène, qu'en faites-vous? Admettrez-vous que la cause, l'agent de cette action, de ce mouvement, de cette transformation remarquable a été aussitôt *anéanti* que *créé!* Deux expressions aussi illogiques que peu scientifiques. Admettrez-vous l'hypothèse commode, mais gratuite, qu'après vous avoir prêté son concours, l'agent vous tire sa révérence et s'en retourne dans le réservoir commun?

Pour peu que vous vouliez compléter et redresser par la mécanique et la logique ces idées auxquelles le chimiste et le physicien sont trop disposés à s'arrêter, vous direz : *Rien ne se crée, rien ne s'anéantit.* J'ai observé et constaté un mouvement dans un milieu où un instant auparavant il y avait repos; donc il y a un agent matériel qui l'a produit, il faut le retrouver. Puisque vous savez ou croyez savoir, à ne prendre que les notions les plus accréditées, que l'électricité est un agent subtil, qui, comme tous les gaz, adhère plus ou moins à la surface des corps,

pourquoi l'idée ne vous viendrait-elle pas que cet agent s'est allié aux deux corps constituants de l'eau, en leur communiquant tout naturellement, dans une mesure différente, son invisibilité, sa légèreté spécifique, caractères communs à tous les gaz?

Si vous avez des doutes, vous allez les faire disparaître en complétant votre analyse par une contre-épreuve. En effet, prenez les deux gaz obtenus et n'en ayez qu'une quantité insignifiante, un milligramme par exemple; mélangez-les dans un vase en verre solide et bien fermé, traversé par une tige métallique en rapport avec un conducteur isolé. Dirigez sur le mélange un rayon de soleil et bientôt la masse s'ébranlera, car vous le savez, le calorique produit le mouvement; les gaz disparaîtront, et comme résultat de cette nouvelle opération, vous trouverez l'eau que vous aviez décomposée tout à l'heure, et, chose remarquable qui n'a jamais été suffisamment remarquée ni annotée, vous mettrez en liberté, si MM. Becquerel, Faraday et Pelletier ne se sont pas trompés, une quantité d'électricité *qui effraye l'imagination*, dit le physicien auquel j'emprunte ce détail, puisqu'elle est capable de charger *vingt mille mètres carrés de surface métallique!* Voilà l'agent, cause du mouvement dont je vous parlais tout à l'heure, retrouvé. Est-ce assez clair?

Je ne sais si je me trompe, mais il me semble que la science n'a pas à sa disposition de démonstrations plus nettes, plus catégoriques que celle que je viens de livrer à vos méditations.

J'espère, entre autres résultats, que j'aurai fait naître dans quelques esprits studieux et réfléchis, et cela me suffit, l'idée qu'il y a beaucoup à faire pour l'ingénieur mécanicien dans les questions d'électricité. Je suis persuadé qu'après examen ils reconnaîtront que pour interpréter convenablement les nombreux faits à leur disposition et en tirer tout le parti désirable, il n'a manqué aux chimistes et aux physiciens que d'y introduire les notions fondamentales de la mécanique. Ils trouveront, d'un autre côté, que le mécanicien ne s'est désintéressé des questions de physique qu'il lui importait, au plus haut degré, de connaître et d'approfondir, que parce qu'il s'est arrêté malheureusement à cette notion juste, mais insuffisante *de la force*, qui consiste à dire : *Que c'est tout ce qui produit ou modifie le mouvement.* D'après ce principe incontestable que l'on n'utilise jamais mieux un agent, quel qu'il soit, que lorsqu'on le connaît parfaitement, je pose en fait que l'on aurait dû, depuis longtemps, rechercher quelle est la nature intime *de la force*[1], comment elle produit tous les phénomènes qu'on lui attribue, et ceux plus nombreux encore où son intervention n'était pas soupçonnée. Malgré cela, malgré les démentis fréquents reçus par ceux qui ont voulu imposer, du haut de leur prétendue omniscience, des bornes à l'esprit humain, à l'expansion d'une idée, quelques-uns vous répéteront encore, avec cet accent d'orgueilleuse infaillibilité qui leur est propre, que c'est là une recherche oiseuse, qu'il n'y a rien à découvrir dans cette direction; que vouloir déterminer, connaître l'agent universel qui produit *la force*, s'il existe, est une utopie irréalisable. Je suis d'un avis absolument opposé. Ce que m'ont permis de voir des études et expériences forcément écourtées et que je regrette beaucoup de ne pouvoir poursuivre, m'a imprimé la conviction, au contraire, que là est la source de progrès immenses intellectuels et professionnels. Quand vous saurez quel est l'agent qui, avec ou sans véhicule, produit les

1. Dût-on s'égarer, comme les alchimistes du moyen âge, dans la recherche de la pierre philosophale; recherche qui, en définitive, a été le berceau de la chimie.

phénomènes de *force*, vous serez sollicités à le serrer de plus près tous les jours, à l'analyser, à en déterminer toutes les propriétés, les manières d'être, de se manifester, et vous serez mieux préparés pour aborder l'interprétation des phénomènes de la lumière, du son, de la chaleur. Je ne doute pas que la question capitale de l'équivalent mécanique de la chaleur, entre autres, n'y trouve des clartés inattendues. Les effets du choc sur les masses métalliques s'expliqueront mieux par l'incorporation, *comme corps constituant*, d'un agent modificateur énergique. J'en dirai autant de la trempe, que le chimiste croit ne devoir attribuer qu'à l'azote et au carbone que lui donne l'*analyse quantitative*; tandis qu'il oublie, sans nul doute, l'agent principal qui échappe à cette sorte d'analyse.

La poudre ordinaire doit ses effets à la détente des gaz, auxquels la combustion donne naissance. En est-il de même des poudres brisantes, du chlorure d'azote, de la nitro-glycérine? Je suis plutôt porté à croire que dans ces derniers, les gaz prétendus simples sont décomposés et mettent en liberté des flots d'électricité qui apparaissent avec les effets terribles qui lui sont particuliers.

Pourquoi les acides ne devraient-ils pas leur activité plus ou moins grande, leur faculté de brûler, de désorganiser, à l'électricité qu'ils contiennent? Cette interprétation, qui peut s'appuyer sur d'excellentes raisons étayées d'expériences probantes, doit conduire à une nouvelle manière d'entendre la pile électrique, et il ne peut manquer d'en découler tôt ou tard des modifications importantes dans la construction de ces appareils. Or, vous savez que c'est à ce détail que se rattache la possibilité de faire des machines électriques motrices plus économiques que celles qui ont été produites jusqu'à ce jour. Nouvelle preuve que la connaissance plus intime de l'agent qui produit la *force* importe aux progrès de la mécanique pratique.

Quel que soit le sujet dont l'ingénieur s'occupe, il ne saurait pousser les recherches trop loin. Il doit interroger l'expérience le plus souvent possible et se garder de se presser trop de généraliser. Nulle part, je l'ai déjà fait remarquer dans d'autres occasions, cette tendance n'existe à un plus haut degré que dans la théorie générale de la résistance des matériaux. Nulle part elle n'offre plus de dangers.

Les formules théoriques de résistance peuvent toutes se traduire graphiquement par une courbe parabolique, comme celles résultant de l'expérience. Il résulte de là que si, pour une même série de solides, les deux courbes obtenues théoriquement et expérimentalement étaient parallèles, il suffirait d'affecter la formule théorique d'un coefficient pratique pour rentrer dans la seconde et tout serait dit. Malheureusement il n'en est pas ainsi, car j'ai fait voir, à l'aide d'expériences effectuées sur une grande échelle, sur des poutres en fonte et en fer et sur des piliers, que les courbes obtenues n'avaient le plus souvent qu'un point de commun, *celui d'intersection*. Il n'y a donc de sécurité dans l'application qu'autant que les calculs théoriques s'appliquent à des poutres qui, par leurs formes, s'éloignent peu de celles qui répondent au point d'intersection.

En d'autres termes, si l'on prend la série de poutres évidées en fer, de forme rectangulaire, d'une portée variant de 1 mètre à 9 mètres, expérimentées par Hodgkinson, et que l'on cherche par la formule théorique en usage le poids qu'elles peuvent supporter sans danger, en introduisant dans cette formule, pour le coefficient de résistance du fer, 6 kilogr. par millimètre carré, et que l'on compare les charges ainsi obtenues à celles sous lesquelles les poutres ont été rompues, on trouve que le coefficient de sécurité varie de 2 à 6,45. Or, une poutre à laquelle

on ferait supporter la moitié de la charge qui la romprait, céderait infailliblement dans quelques-unes de ses parties, dans les épreuves auxquelles on soumet les ponts avant de les livrer à la circulation.

Que faut-il pour se trouver à son insu dans ces conditions dangereuses? S'éloigner des types très-restreints consacrés par l'expérience, soit en changeant par trop les rapports habituels des dimensions : la hauteur de la poutre ou la dimension horizontale des tables supérieures et inférieures par rapport à la longueur; l'épaisseur de ces tables par rapport à leur largeur, les dimensions et les proportions d'un treillis, la forme d'une poutre évidée. Certaines poutres évidées en fer et en fonte n'ont que le tiers de la résistance calculée; je pourrais en citer des exemples. Ces diverses observations m'ont suggéré les réflexions suivantes, consignées dans une brochure que j'ai publiée en 1859, *sur les prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique.*

« Ainsi donc, disais-je, en partant d'hypothèses qui au premier abord paraissaient admissibles, et dont quelques-unes semblaient confirmées par l'expérience dans certaines limites pour des solides à sections rectangulaires pleines; en établissant sur ces données une théorie générale d'une grande simplicité, d'une grande rigueur en tant qu'il ne s'agit que du calcul, on aboutit en face de la pratique à une contradiction. Un changement de forme dans la section, qu'on ne supposait pas capable de changer les conditions du problème, les modifie profondément. La matière se soustrait à une loi trop simple qu'on voudrait lui imposer; elle veut être étudiée de plus près dans toutes ses espèces, sous toutes ses formes, dans toutes les situations où elle peut être appelée à nous servir; et ce n'est évidemment qu'après une longue suite d'observations attentives et minutieuses, d'expériences multipliées, qu'elle nous livrera son secret, la loi générale à laquelle elle est soumise sous le rapport de ses diverses résistances.

« Jusque-là, l'ingénieur prudent se défiera des calculs qui ont la prétention de donner des solutions embrassant un grand nombre de cas particuliers; il sentira le besoin de ne pas perdre un seul instant de vue le phare salutaire de l'observation; il s'en tiendra le plus souvent aux formules empiriques qui en traduiront exactement les résultats, et, dans cette situation peu ambitieuse, mais sûre, il attendra paisiblement l'avénement d'une théorie qui devra pouvoir être contrôlée dans chaque cas particulier par l'expérience et sortir triomphante de toutes les épreuves. »

Ailleurs, je faisais remarquer qu'il suffisait qu'il se rencontrât un jeune ingénieur, se reposant avec trop de confiance sur la théorie, n'accordant au côté pratique qu'une attention secondaire et dépourvu de cet instinct, de ce coup d'œil qui, autrefois, tenait lieu de tout aux vieux praticiens, pour que nous fussions témoins de la rupture d'un pont, ayant même reçu comme système et calcul la sanction administrative. Vous n'avez pas entendu dire depuis qu'un tel accident soit arrivé. S'ensuit-il que tous les ponts construits aient été à l'abri de la critique? J'en doute fort, je suis plutôt porté à croire qu'on garde les échecs de cette nature pour soi et qu'on y remédie en silence.

Je ne veux mettre, à ce propos, personne sur la sellette, mais il me sera permis de dire que ce que j'avais prévu est arrivé, et qu'à ma connaissance, deux grands ponts ont été projetés et exécutés dans des conditions telles que l'un d'eux serait tombé si, malgré l'auteur du projet, le constructeur, M. Joly, d'Argenteuil, ne l'avait renforcé à ses frais; que le second, établi par un autre constructeur, dans le même

système, n'a été préservé de la chute que parce que, prévoyant ce qui arriverait et voulant avoir une preuve expérimentale de cette prévision, on avait disposé dessous un solide bâti en charpente pour le recevoir et rendre l'accident auquel on s'attendait facilement réparable.

Sous le poids d'une grosse machine, la poutre la plus voisine de la voie sur laquelle s'effectuait le passage est venue s'affaisser sur la ferme en charpente; les barres du treillis ont pris des flèches permanentes de 3 à 4 centimètres. Elles ont été redressées, puis renforcées par l'application de solides croix de Saint-André ayant la forme de fer en U, et le pont ainsi corrigé a pu supporter les épreuves ordinaires sans montrer le moindre signe de faiblesse.

Maintenant, quel était le système de pont dont il s'agit. Il consistait en une poutre évidée à jours rectangulaires très-grands, séparés par de larges et solides montants reliant les parties inférieures et supérieures de la poutre. Le treillis ne figurait dans le système que comme garde-corps; il n'en avait pas été tenu compte dans le calcul de résistance.

Il y a toute une jeune école d'ingénieurs qui prétend faire ainsi des ponts solides et économiques. J'ai entendu même un ingénieur expérimenté en travaux de toute espèce, excepté en constructions métalliques, séduit à l'aspect du premier pont dont je viens de vous entretenir, exprimer l'opinion que le treillis était inutile et qu'il s'en passerait dans un pont semblable dont il faisait alors le projet; je l'en ai dissuadé sans entrer dans les détails qui précèdent. J'espère que ce que je viens de dire arrivera à sa connaissance et lui épargnera un fâcheux accident.

Il y a une chose que le praticien ne doit pas perdre de vue, c'est que dans les poutres évidées en fer ou en fonte, comme dans les poutres en bois, les évidements doivent affecter des figures de formes invariables. Je connais des exemples d'accidents semblables à ceux dont je viens de vous parler, arrivés à des poutres en fonte évidées à jours rectangulaires et que l'on a dû faire pleines pour éviter de nouvelles ruptures. J'ajouterai que l'expérimentation directe, faite sur des poutres de cette espèce, a démontré que leur résistance n'était environ que le tiers de celle donnée par le calcul.

Pour résumer ces observations faites en vue de mettre les praticiens sur leurs gardes, je dirai que l'expérience me paraît avoir montré que les calculs en usage ne présentent de sécurité que s'ils sont appliqués à des poutres dont les formes, les rapports des différentes parties s'éloignent peu des types expérimentés ou connus, par la raison très-simple que si l'on met en courbe la formule théorique de la résistance d'un type de poutre et celle qui traduit empiriquement les résultats de l'expérience, les deux courbes se rencontrent. La théorie n'est donc absolument d'accord avec la pratique qu'au point d'intersection et approximativement qu'en des points d'autant moins éloignés du premier que les deux courbes se rencontrent sous un angle plus petit.

Il y aurait là, ce me semble, un sujet d'études et d'expériences intéressantes pour le praticien quand bien même l'assertion que je viens d'émettre ne serait qu'une simple présomption. Mais si l'on veut bien se reporter à ce que j'en ai dit dans la brochure précitée et dans l'appendice à mon mémoire sur la résistance des piliers en acier, on trouvera sans doute que mes craintes sont assez justifiées, et que l'expérimentateur a beaucoup à faire encore pour mettre à notre disposition tous les éléments dont nous avons besoin pour construire en toute sécurité en dehors des données habituelles, et que le mathématicien n'a pas moins à faire de son côté pour s'ap-

proprier convenablement et tirer tout le parti possible des résultats d'expériences.

Il y a là, pour l'un comme pour l'autre, un vaste champ ouvert pour concourir avec avantage à l'obtention de la médaille d'or.

Le but principal de cette Société, c'est de nous fournir l'occasion d'échanger nos idées et de mettre à la disposition des uns les résultats de la pratique des autres. Ce but essentiel n'est pas toujours rempli autant qu'il pourrait et devrait l'être. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, chaque Compagnie de chemins de fer introduit dans les réceptions de travaux en fer ou en fonte des conditions d'épreuves dont tous les résultats devraient arriver ici dans l'intérêt de tous. J'adjure tous ceux de nos camarades qui le peuvent d'entrer dans cette voie. Sans doute nous arriverons à constater souvent que les résultats divers ne sont pas comparables, à cause des conditions plus ou moins différentes dans lesquelles les expériences auront été effectuées. Mais ce fait une fois constaté, on ne peut douter que les intéressés ne s'entendent pour arrêter un programme commun d'expériences qui mettra bientôt à notre disposition des renseignements précieux sur la valeur comparative des produits des diverses usines, si l'on prend soin surtout de noter, à côté des résultats d'expérience, les constructions en vue desquelles elles auront été faites et le prix des fers employés.

Vous avez tous été frappés de la série remarquable des fers de diverses qualités exposés par le Creusot. Chaque échantillon portait un prix ; mais si je ne me trompe, il y manquait un renseignement essentiel : la résistance de chacune des qualités de fers exposés. Cela seul peut donner un caractère pratique à ces essais ; car il est évident qu'il ne servira à rien de s'évertuer à produire un fer qui augmentera la résistance de 25 à 30 p. 100, si le prix augmente dans une proportion double. Le véritable progrès doit consister à mettre à notre disposition des matériaux de meilleure qualité et d'un emploi relativement plus économique.

Après les travaux dont il vient d'être question, et qui ont ce caractère d'utilité générale qui doit leur donner le plus grand prix à vos yeux, viennent ceux qui ont une utilité plus restreinte et qui se rapportent à des dispositions plus ou moins ingénieuses d'appareils spéciaux.

Je n'ai pas besoin d'entrer à leur égard dans aucune énumération détaillée, ni d'appeler à leur sujet des communications d'une manière particulière ; ce sont celles qui nous arrivent le plus facilement, et il y a tout lieu d'espérer que, grâce à l'Exposition universelle et aux travaux des Commissions de cette Société, nous ne chômerons pas de longtemps, faute de communications de cette nature. J'espère, entre autres, que la Commission du matériel des chemins de fer viendra nous dire ce qu'elle pense des deux types si différents de puissantes machines locomotives exposées par MM. Petiet et Forquenot. Je ne crois pas m'écarter des idées reçues, et en tous cas rationnelles, en disant que le progrès consiste non-seulement à établir des machines puissantes, stables, faciles à conduire, d'un mécanisme simple et ingénieux, d'une grande solidité dans les attaches principales, d'une construction et d'un entretien faciles ; mais qu'il convient en même temps pour l'économie d'établissement et d'entretien de la voie et la conservation des bandages, de diminuer le plus possible le poids sur les essieux moteurs. Sans doute, les deux types en présence réalisent, à divers degrés, toutes ces conditions. Mais lequel des deux répond le mieux au minimum de charge sur les rails, et dans quelle mesure ? Cette question, qui est d'un certain intérêt pour les grands réseaux, importe encore plus à l'avenir des chemins de fer d'intérêt local. Car ceux-ci ne peuvent exister sans une construction extra-

économique, laquelle ne peut être obtenue qu'à la condition d'y employer les rails les plus légers possibles (par exemple, 20 kilogr. par mètre), de lécher le sol et, par conséquent, d'avoir recours à des pentes de 15 à 20 millimètres. De là, la nécessité d'avoir des machines assez fortes, quoique n'ayant pas plus de 6 tonnes sur les essieux moteurs. Est-ce que le problème résolu pour les grandes lignes qui ne craignent pas de faire porter de 11 à 12 tonnes aux essieux ne trouverait pas son application en petit aux chemins dont il s'agit, par une réduction proportionnelle de force et de poids? C'est, à mon avis, un des problèmes les plus intéressants qu'il y ait à résoudre en ce moment.

J'aimerais aussi à voir soulever une nouvelle discussion à propos de la valeur comparative des rails à champignons et des rails à patins. Par suite d'un retard de livraison, j'ai dû avoir recours à ces derniers, les seuls que l'on pût me fournir alors dans le temps voulu. J'en ai employé 3,000 tonnes, et je dois dire, en toute sincérité, que je n'en ai pas éprouvé le degré de satisfaction témoigné par divers ingénieurs de cette Société et du dehors, qui en ont fait usage. On doit pouvoir nous dire aujourd'hui si les rails à patins ont bien tous les avantages qu'on leur a attribués, et si, en revanche, ils n'ont pas quelques graves inconvénients. D'un autre côté, n'est-on pas arrivé à faire disparaître une partie de ceux reprochés, à juste titre, aux rails à double champignon? A cette question de rails se rattache d'ailleurs celle de leurs accessoires : éclisses, coussinets, tire-fonds, traverses, etc., qui ne manquent pas d'intérêt, et à propos desquels les hommes spéciaux pourraient très-utilement échanger le résultat de leur pratique, d'après un programme arrêté à l'avance.

Je ne veux pas m'étendre indéfiniment sur les questions qui se rapportent aux chemins de fer. Cependant il en est une sur laquelle je m'en voudrais de ne pas appeler votre attention : celle des chemins d'intérêt local. Si l'on réfléchit que 34,000 kilomètres de routes impériales seront bientôt remplacés, pour plus de moitié de leur longueur, par des chemins de fer dans le système actuel, on se demande si les 120,000 kilomètres de routes départementales et chemins de grande communication ne devront pas, dans un avenir peu éloigné, être remplacés ou suppléés par 50,000 kilomètres de chemins de fer d'intérêt local. On ne peut que répondre affirmativement à cette question; et dès lors le chiffre que je viens de citer montre quelle en est l'importance, et quel avenir attend ceux d'entre nous qui voudront se vouer à cette tâche intéressante.

Le Gouvernement a très-bien compris les conditions simples et économiques dans lesquelles ces chemins doivent être exécutés, et leur a accordé le bénéfice d'un cahier des charges qui permet de les réaliser. L'exemple du chemin de fer de Fougères à Vitré a montré, conjointement avec ceux d'Écosse, comment le but peut être plus ou moins atteint; et il n'est pas douteux qu'il ne soit suivi dans les 170 kilomètres que le département de l'Hérault veut exécuter, et les 60 kilomètres que notre confrère, M. Faliès, a entrepris dans le département de la Sarthe. Mais la question de construction résolue en même temps que celle d'un moteur approprié, il reste la question non moins intéressante de l'exploitation, sur laquelle il y a une dissidence d'autant plus regrettable que l'avenir même des nouvelles voies y semble intéressé. Certains départements, croyant mieux l'assurer et faire en même temps l'économie du matériel roulant, ne veulent donner de concessions qu'à la condition que les soumissionnaires auront avec la Compagnie à laquelle doivent se rattacher les chemins d'intérêt local, un traité d'exploitation. Je n'hésite pas à dire que c'est vouloir im-

poser à ces entreprises des conditions d'exploitation sous le faix desquelles elles succomberaient le plus souvent.

En premier lieu, en croyant faire l'économie d'un matériel roulant au moyen de celui de la Compagnie voisine, on ne réfléchit pas que celui-ci est d'un poids qui exigerait des rails lourds, entraînant un excédant considérable de dépenses dans l'établissement de la voie. En second lieu, les nouveaux chemins n'ont d'existence possible qu'à la condition de suivre des errements d'exploitation absolument différents de ceux en usage dans les grandes compagnies. Or il est à craindre que celles-ci n'aient pas l'aptitude voulue pour entrer dans cette voie, et voulussent-elles l'essayer, elles seraient sans cesse sollicitées par une tendance naturelle à l'uniformité, à ramener le système d'exploitation des voies nouvelles à celui qu'elles suivent pour les anciennes.

J'imagine qu'un chemin de 15 à 20 kilomètres, comme il s'en rencontrera le plus souvent, devra souvent être exploité comme un omnibus; il n'y faudrait pas de station proprement dite. Un abri ou une buvette, que l'on donnerait à loyer à une personne du pays, devrait suffire, dans la plupart des cas, pour recevoir les voyageurs. Quelques voies de garage, de loin en loin, pour prendre ou déposer des wagons de marchandises, dont on laisserait la charge, la décharge et le camionnage, soit aux expéditeurs ou aux destinataires, soit à un commissionnaire, moyennant une rétribution à tant par tonne; un gérant, qui serait à la fois ingénieur de l'exploitation du matériel et de la voie, intéressé aux bénéfices du chemin, tel est le système qu'il parait convenable d'adopter. C'est l'opinion que j'émettais en 1858 dans une brochure spéciale sur le mode d'exploitation à suivre, et qu'on trouve également exprimée dans une étude intéressante de MM. Molinos et Pronnier. Je la maintiens plus que jamais comme la seule qui puisse conduire à de bons résultats. En tous cas, on ne se repentira jamais de commencer l'exploitation dans cet ordre d'idées, et d'attendre, pour le modifier et l'agrandir, les indications du trafic. Donner, au contraire, de prime abord, à un chemin de fer de 20 à 30 kilomètres, les dispositions d'une grande ligne; placer à sa tête un nombreux état-major aussi coûteux qu'inutile; exploiter des gares dans le système des grandes compagnies; c'est, à mon avis, une aberration fâcheuse qui, je ne saurais trop le répéter, ne peut avoir qu'un résultat ruineux.

Les rapports de MM. Lan et Bergeron, sur l'exploitation des chemins de fer de cette espèce en Écosse, montrent à quel degré de simplicité il faut descendre pour les rendre fructueux. J'espère que ceux de nos confrères qui s'occupent de chemins de fer d'intérêt local, et je souhaite qu'il y en ait beaucoup, ne perdront jamais de vue ce point important, et que les départements, plus éclairés sur leurs véritables intérêts, loin de chercher à accoupler les nouveaux chemins avec les anciens, les en sépareront avec le plus grand soin. Il n'est pas douteux pour moi que leur développement et leur prospérité ne soient à ce prix.

Les voies de transport forment un élément important de l'outillage industriel français, et, par conséquent, entrent pour une bonne part dans le prix de revient des matières premières aux usines, et celui des objets fabriqués aux lieux et ports d'expéditions, situés sur les confins de l'empire. Nous avons beaucoup à faire pour diminuer l'influence des transports sur les prix ci-dessus, dans la mesure convenable relativement à l'Angleterre; par la raison que ce pays, par sa forme, réalise les plus petites distances des lieux de production aux ports d'embarquement, et qu'il existe partout une concurrence dans les transports, qui peut, suivant les besoins, faire

descendre les prix jusqu'aux dernières limites du bon marché. En France, au contraire, les usines sont en général plus éloignées des frontières terrestres ou maritimes. En outre, la formation des grands réseaux, qui a pu rendre de grands services pour l'établissement rapide des voies ferrées principales, exclut toute possibilité de concurrence sérieuse; à ce point, que l'on peut se demander si, pour compléter et favoriser l'application du système du libre échange, et après avoir créé les grands réseaux en vue d'une construction plus rapide, on ne sera pas un jour obligé d'en modifier profondément les dispositions pour en obtenir une exploitation plus en rapport avec les besoins de l'industrie et du commerce, et plus favorable à la prospérité générale : prospérité qu'ils ont, en définitive et avant tout, pour devoir et mission principale, de servir et de développer.

En attendant cette solution ou toute autre, s'il en existe, capable de rendre les mêmes services, nous n'avons qu'une chose à faire : multiplier le plus possible les chemins de fer, comme ceux d'interêt local d'une construction économique, allant chercher les produits dans l'usine même, pour éviter ou diminuer les transbordements, et capables d'effectuer des transports à des prix d'autant plus bas, que le capital à rémunérer sera plus faible; ne pas craindre de créer la concurrence, qui est le ressort vital de l'industrie, et en faire, au contraire, l'expérience, quand on le pourra, sur les nouvelles voies, pour préluder à celle qu'il faudra peut-être tôt ou tard établir sur les anciennes; obtenir que l'on mette à la disposition de l'Industrie, comme un instrument complémentaire qui doit lui servir au même titre que les chemins de fer, les ports de mer, afin qu'elle y installe, sur une large échelle, les bassins, les docks et les instruments les plus perfectionnés, pour la prompte et économique manutention des marchandises.

D'ailleurs, les chemins d'intérêt local ne serviront pas seulement les intérêts de l'industrie manufacturière proprement dite. A mesure que les bras manquent à l'agriculture, l'emploi des machines est forcé de les suppléer; ce qui met la ferme de plus en plus dans la voie de devenir une véritable usine agricole et forcera inévitablement les petits cultivateurs à se grouper, un jour ou l'autre, sous une raison sociale. A ce moment que doit rapprocher l'exécution même des chemins d'intérêt local, le perfectionnement et la multiplicité des machines agricoles et la tendance de plus en plus accusée de l'homme à servir plutôt comme *intelligence* que comme *force brute*, les nouveaux chemins rendront des services considérables. Toutes ces choses sont liées de telle sorte qu'elles réagiront l'une sur l'autre en devenant tour à tour l'objet et la cause de perfectionnements et de développements incessants.

A ce moment-là s'effectuera sans doute, sur une grande échelle, l'amendement des terres, l'amélioration générale du sol par l'échange et le transport économiques des marnes dans les terres légères et de celles-ci dans les terres fortes, etc. A mesure que l'agriculture prendra ainsi, de plus en plus, le caractère industriel, l'ingénieur sera plus souvent appelé à y intervenir, jusqu'à ce qu'il s'en empare définitivement, comme d'un domaine entièrement de son ressort. C'est alors que l'on se posera probablement la question de savoir si la culture en général est appropriée à l'état géologique et hydrographique du sol. On s'étonnera peut-être qu'un pays, admirablement partagé sous le rapport hydrographique, qui pourrait, en irriguant les terrains les plus élevés, transformer une grande partie de sa culture en prairies artificielles, élever un nombre considérable de bestiaux, ne consomme presque pas de nourriture animale, laisse se former de grandes rivières, de grands fleuves, dont

la force productrice n'étant pas utilisée comme elle pourrait et devrait l'être devient inévitablement une force destructive permanente ou accidentelle. Ainsi on me citait dernièrement, entre autres, une rivière dont on s'efforce de faire une voie de transport au moyen de barrages éclusés. L'un d'eux a été établi dernièrement en aval de prairies magnifiques, qui valaient 15,000 francs l'hectare ; le niveau d'eau ayant été relevé, il y pousse aujourd'hui des joncs. Le sol, m'a-t-on assuré, a perdu les deux tiers de sa valeur et les inondations y feront plus qu'autrefois sentir leur funeste influence. Dans un autre endroit les riverains d'un cours d'eau, en ont élevé le plan d'eau pour l'établissement de moulins. Il y a là une dizaine de moulins qui rapportent peut-être ensemble 15,000 francs; à voir l'état du pays on ne peut s'empêcher de se demander si l'on n'a pas fait perdre dix fois plus aux prairies qui les avoisinent, inconvénient auquel on peut ajouter l'insalubrité due aux eaux stagnantes. Combien de canaux construits en beaux alignements et en remblai ont perdu les riches vallées dans lesquelles ils circulent !

On se figure généralement qu'un cours d'eau comme la Loire est une voie naturelle économique de transport. A mon avis il n'y a, en général, de pareilles voies que la mer et celles créées de toutes pièces par l'industrie humaine. Les autres ne devraient, le plus souvent, être considérées comme telles que par les sauvages.

En effet, si l'on se rendait compte des sommes dépensées sur les 1,000 kilomètres de la Loire, en ponts, endiguements, et digues submersibles; que l'on y ajoutât avec les intérêts, les quelques centaines de millions que coûtent tous les dix ans les inondations de ce fleuve dangereux; que l'on supputât la valeur agricole industrielle de l'eau que l'on jette à la mer, tandis que les coteaux de chaque côté et ceux des affluents, en manquent la plupart du temps; puis, que l'on mît ce gigantesque résultat en argent en présence du nombre annuel de tonnes kilométriques transportées par le fleuve, je serais bien étonné si l'on ne trouvait pas un chiffre vingt fois plus fort que le tarif le plus élevé de nos voies ferrées. Pour s'en faire une idée, il suffit de remarquer qu'un chemin de fer, sur toute la longueur du parcours de la Loire, s'il était à exécuter, ne coûterait pas plus de trois cents millions. Ce n'est que le prix de deux ou trois inondations !...

J'en conclus, que pour arriver à obtenir de nos rivières le maximum de rendement et éviter les catastrophes auxquelles leurs crues donnent lieu périodiquement, il faudrait non pas les endiguer, mais les réduire à n'être plus qu'un filet d'eau inoffensif et simplement suffisant pour les besoins de la culture et l'alimentation des riverains.

Le moyen ne paraît nullement impraticable. Il suffirait, en effet, d'empêcher les affluents d'arriver dans les grandes vallées en les déviant à toutes les hauteurs et leur faisant suivre les sinuosités du sol. On pratiquerait de la sorte l'irrigation sur la plus grande échelle qui se soit jamais vue : ce qui fournirait le moyen de fabriquer au meilleur marché possible, autant de viande que l'on voudrait, non-seulement pour la France, mais pour l'Algérie. Celle-ci nous rendrait en abondance le blé que son sol est plus apte que le nôtre à produire. Outre les avantages immenses qui en résulteraient pour la mère patrie, on aurait trouvé, du même coup, un élément d'échanges considérables avec notre colonie, qui la ferait entrer dans une voie d'activité et de prospérité incalculables.

Quoi de plus simple et de plus rationnel tout à la fois !

Objectera-t-on que l'on supprimerait ainsi la concurrence de la voie d'eau que le

système des monopoles des grands réseaux rend plus que jamais indispensable? Je répéterai qu'il n'y a d'instrument perfectionné et véritablement économique de transport que celui créé de toutes pièces, et qu'en conséquence, mieux vaudrait, dans ce but, établir un second chemin de fer sur l'autre rive de la Loire, par exemple, si l'on n'aime mieux, une fois le fleuve rentré dans un lit modeste, dont il ne pourrait plus sortir, approprier une partie de l'ancien lit à l'assiette de la nouvelle voie. Pas de terrains à acheter, pas de travaux d'art à construire, à peine quelques terrassements. Ce serait, en vérité, un chemin de fer des plus économiques....

Si je ne me trompe pas sur les travaux que l'avenir nous tient ainsi en réserve, la profession d'ingénieur, déjà si utile, déjà illustrée par tant de travaux remarquables ne ferait encore que de naître. Elle n'aurait pas pris un point de vue suffisamment élevé de la nature et de l'étendue de son intervention dans l'économie sociale. Et ce point de vue lui ayant fait défaut, des millions auraient été dépensés en travaux d'expédients qui devront être délaissés ou recevoir une autre destination. Nous pouvons dire en tous cas, à la décharge de la profession, que l'on a procédé ailleurs de la même manière; et qu'après tout si l'on devait faire le compte des sommes dépensées sans profit pour la civilisation par les diverses spécialités de l'activité humaine, ce n'est pas la nôtre qui aurait la plus lourde addition.

Quand je vous aurai dit que nous avons encore à nous livrer très-attentivement à l'étude des maisons d'habitations de nos humbles et intéressants collaborateurs, les ouvriers dont nous avons pour devoir d'élever de plus en plus le bien-être physique intellectuel et moral; que nous avons dans la société des membres qui s'en sont occupés avec distinction et qui pourront venir reprendre ici et compléter les communications intéressantes déjà faites à la Commission que j'ai eu l'honneur de présider, j'aurai terminé les observations principales, que je tenais à présenter sur quelques-uns des points de pratique qui m'ont paru de nature à attirer plus particulièrement votre attention. J'espère que je ne l'aurai pas fait en vain, et que les travaux de l'année qui s'ouvre porteront la trace des idées que j'ai pris la liberté de vous signaler.

Je m'étais proposé de vous entretenir encore de l'avenir de notre Société; je ne pourrai le faire avec les développements que ce sujet intéressant comporte parce que je sens que j'ai dû, par ce qui précède, excéder les bornes de l'attention que je puis raisonnablement réclamer de vous. Heureusement ce que j'ai eu l'occasion de vous dire tient à ce sujet d'une manière très-directe; car je n'ai pu mettre sous vos yeux le tableau de ce que le pays réclame de notre profession sur quelques points seulement, sans que vous en ayez tiré la conclusion, qu'à l'inverse des spécialités dont le besoin se fera de moins en moins sentir, la nôtre ne peut que s'étendre tous les jours davantage. En effet, tout ce qui peut contribuer directement au progrès, au bonheur matériel de l'humanité est notre lot. Plus nous allons, plus nous diminuons le nombre de ceux qui ne vivent que de l'emploi de la force physique; ce qui permet d'élever de plus en plus le niveau intellectuel et moral des populations. En même temps les machines diminuant les prix des objets de consommation rendent ceux-ci plus accessibles à tous. Avec la faculté de consommer, l'existence assurée, viennent la bonne santé, la bonne humeur. L'homme qui a le cœur content n'aime pas la fréquentation des gens de loi, pas plus que ceux qui se portent bien ne recherchent les avis des médecins. Il y a donc là, entre autres, deux professions que nous minons sourdement tous les jours sans qu'elles s'en doutent. Notre action n'est pas moins fatale aux gens de guerre et de la diplomatie; et si un jour les populations et les peuples se confondent dans un embrassement universel, utopie qu'il est toujours consolant de

nourrir malgré les apparences quelquefois contraires, nous pourrons nous flatter d'y avoir contribué pour la plus grande part....

Agents actifs, dévoués, infatigables du progrès de l'industrie, nous travaillons à écarter tout ce qui l'entrave, tout ce qui fait obstacle à la libre concurrence, à l'expansion la plus large de l'initiative individuelle; nous souhaitons à cette fin, ne pouvant faire davantage, la diminution graduelle de l'intervention administrative dans les affaires industrielles et commerciales; et, comme dernier terme, l'avénement d'une profession libre, comme celle des médecins et des avocats, où viendront un jour se confondre tous ceux qui s'occuperont de travaux et d'industrie.

Par la raison indiscutable que l'avenir est au progrès; que le progrès n'est possible qu'à la condition que sa marche sera dégagée de plus en plus des monopoles, des prohibitions, des restrictions et interventions inutiles, l'avenir est à la profession libre des ingénieurs civils. On voit par l'exemple de l'Angleterre et des États-Unis ce qu'elle peut produire sous un pareil régime. La France n'est ni moins intelligente ni moins instruite que ces deux pays; elle n'en diffère que par la manière d'opérer et comme elle va moins vite, il faut en conclure que sa méthode est moins bonne et qu'elle ne peut que gagner à s'inspirer de celle de ses voisins.

En attendant, la Société des ingénieurs civils français prend tous les jours plus de consistance et d'importance. Elle compte déjà plus de 900 membres et pourrait aisément tripler ce nombre si tous ceux qui suivent la même carrière dans l'industrie venaient s'adjoindre à nous. Elle a été reconnue d'utilité publique, elle possède un fonds social qui s'accroît tous les jours. Il ne lui manque plus qu'une dernière consécration aux yeux du public qui se laisse plus facilement frapper par les signes extérieurs de la prospérité : c'est de devenir propriétaire immobilier, d'avoir, comme on dit, *pignon sur rue*, dans un endroit central. Chacun est d'accord pour reconnaître que le moment est venu d'accomplir cette condition essentielle. Au nombre des voies et moyens, quelques membres ont imaginé de réunir dans le même local la Société des ingénieurs civils et l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures. C'est, à mon avis, une excellente idée à ce double point de vue : que les deux sociétés réunissant leurs ressources rapprocheront beaucoup l'époque où elles seront chez elles; qu'étant réunies dans le même local, elles auront réalisé un rapprochement, une entente cordiale qui ne peut que leur être profitable à toutes deux et à la profession en général. J'espère donc que tous les bons esprits se rallieront à cette idée et feront tous leurs efforts pour l'amener rapidement à bonne fin.

Il ne paraît pas que rien s'oppose désormais à ce que cette entente s'établisse de la manière la plus complète. Bientôt l'émotion produite par la création de l'École centrale d'architecture n'aura plus de raison d'être, même pour les esprits les moins accommodants et les plus prévenus. M. Émile Trélat, aussi mal compris, à mon avis que vivement attaqué, n'a pas moins reconnu l'utilité de la conciliation, et faisant le sacrifice de ses convictions, il est entré dans la voie des concessions : au titre *central* de son école il a ajouté le mot *spécial* qui restera seul, m'a-t-on dit, lorsque le temps aura suffisamment préparé la transition.

Pour moi, je regrette, je dois l'avouer, qu'il ait été obligé d'en venir là. J'ai assisté, en quelque sorte, à l'éclosion de son idée, au choix du titre qui n'avait d'autre objet, j'en suis certain et je voudrais qu'on se le persuadât bien, que d'indiquer une filiation naturelle, honorable, sympathique, un but analogue à celui de l'école

mère, dans une direction tout à fait spéciale et restreinte plus étrangère que d'autres à la profession d'ingénieur proprement dite.

J'étais persuadé et je le suis encore que le mot *central* peut être très-justement appliqué à toutes les grandes écoles de ce grand *centre* que l'on appelle Paris; que le mot commun aux deux titres n'amènerait aucune confusion dans la pratique, à cause de la nécessité qui se serait fait immédiatement sentir, pour les distinguer, d'éviter, pour la nouvelle école, l'abréviation que l'usage a introduit dans la désignation de l'ancienne et de l'instruction très-différente donnée aux élèves de l'école centrale d'architecture. D'ailleurs l'essence même de la profession *libre* étant la *concurrence,* je ne m'effrayai même pas à l'idée qu'aux nombreuses écoles qui viennent se fondre ici sous une même appellation, et luttent énergiquement entre elles dans l'arène industrielle, il s'en ajoutât une autre ayant avec l'École centrale des arts et manufactures un lien de parenté de plus que les autres. Enfin j'ajouterai, qu'à mes yeux un qualificatif peut d'autant moins donner lieu à discussion qu'il est plus général et qu'un titre même dans son entier peut n'avoir qu'un caractère temporaire, par la raison bien simple que les motifs qui l'ont justifié au début peuvent disparaître, ou se modifier suivant les circonstances.

Or l'idée que j'ai conçue de l'École centrale des arts et manufactures, des services qu'elle a rendus, de ceux qu'elle est appelée à rendre, d'après le développement considérable que l'avenir réserve inévitablement à la profession d'ingénieur, m'a conduit à penser qu'un jour viendrait, et ce jour ne saurait être bien éloigné, où l'on trouverait juste et convenable de modifier son titre actuel pour le mettre plus en rapport avec son but et les destinées qui l'attendent. Il m'a semblé et il vous semblera sans doute aussi que le titre de *Faculté* réservé au haut enseignement, ne serait pas moins bien appliqué aux *Arts et Manufactures* ou en un mot à l'*Industrie,* qu'au *Droit* et à la *Médecine.*

Espérons que ceux qui peuvent le plus pour l'avenir de l'École l'envisageront ainsi, et que nous ne tarderons pas à voir dans un endroit plus *central* qu'aujourd'hui un local bien approprié, et il y en a, sur le fronton duquel nous lirons : *Faculté de l'Industrie.* Je ne doute pas que les professeurs de l'École centrale comme les élèves anciens et nouveaux ne se dévouent, corps et âme, à illustrer ce nouveau titre, comme les élèves de l'École polytechnique ont illustré leur nom actuel, le deuxième donné à leur école depuis sa fondation.

La Société, consultée, nomme par acclamation M. Eugène Flachat président honoraire.

Séance du 24 Janvier 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 10 janvier est lu et adopté.

M. le Président communique une lettre de M. Eugène Flachat, qui donne sa démission de membre du Comité, par suite de sa nomination comme Président honoraire.

M. le Président annonce qu'il sera procédé au remplacement de M. Flachat comme membre du Comité dans la séance prochaine, qui aura lieu le 7 février.

M. le Président donne la parole à M. J. Belleville, pour faire sa communication sur ses générateurs inexplosibles.

M. Belleville divise ses appareils en trois types principaux : *type marin*, *type fixe* et *type transportable*.

Ces trois types diffèrent entre eux :

1° Par l'écartement entre les tubes. Cet écartement est plus grand pour les appareils à tirage naturel que pour ceux à tirage artificiel ;

2° Par la disposition et la composition des enveloppes ;

3° Par certaines différences qui existent dans la disposition des pièces ou organes accessoires, différences qui résultent des conditions spéciales dans lesquelles ils doivent habituellement travailler.

C'est ainsi que le type transportable a été spécialement étudié et groupé pour obtenir, avec les moindres volumes et poids possibles, des appareils d'une grande puissance relative et d'une solidité d'ensemble qui leur permette de résister aux trépidations et chocs auxquels ils sont exposés par leur genre de destination.

Ainsi, des machines locomobiles, construites dans ces conditions et montées sur deux roues, font, depuis quatre ans, un service de battage de grains ; elles vont ainsi, de ferme en ferme, à travers les ornières de chemins qui seraient le plus souvent impraticables pour des machines à quatre roues.

Chaque appareil est formé d'éléments de tubes générateurs (sorte de vases communiquant) composés de tubes horizontaux superposés, raccordés entre eux par des boîtes ou coudes et disposés longitudinalement au-dessus du foyer.

Les dimensions et le nombre d'éléments de tubes qui composent chaque générateur dépendent de son plus ou moins de puissance.

Les tubes sont en fer forgé, parfaitement soudés à recouvrement sur mandrin ; ils peuvent supporter une très-grande pression.

Chaque élément communique, par son tube inférieur et par son tube supérieur, avec deux tubes plus gros disposés transversalement et désignés sous le nom de collecteurs inférieur et supérieur.

Chaque élément puise son alimentation dans le collecteur inférieur et déverse le produit de sa vaporisation dans le collecteur supérieur.

Chaque tube est pourvu d'un bouchon de nettoyage fixé à l'aide d'un boulon à ancre.

Le démontage de ce bouchon se fait en tous temps avec une entière facilité.

Chaque appareil est muni d'un cylindre-niveau.

Cet organe est en communication avec les collecteurs inférieur et supérieur.

Il est muni :

D'un niveau à tube en verre;
D'un robinet de jauge;
D'un appareil automoteur d'alimentation ;
D'un sifflet avertisseur de manque d'eau;
D'un orifice pour faire le plein;
D'une attente pour manomètre;
Et, enfin, d'une prise de vapeur pour appareil Giffard, par exemple.

Un robinet automoteur d'alimentation est réglé par un flotteur, pour maintenir le niveau de l'eau à une hauteur déterminée et la vapeur au point voulu de saturation ou de siccité.

En augmentant ou en diminuant le contre-poids du flotteur, on peut à volonté diminuer ou augmenter la hauteur de l'eau dans le générateur.

L'axe de rotation du levier du flotteur s'enclanche dans le bout de la clef du robinet, qui est ainsi en communication directe avec la pression de l'intérieur du générateur.

Il s'ensuit que, plus la pression est élevée dans le générateur, moins il est possible que la clef du robinet puisse se coincer.

Ce mode de robinet automoteur ne manque jamais en service : son travail est très-doux.

Mais si accidentellement, par suite d'avarie au flotteur, il venait à ne pas fonctionner, on peut immédiatement le régler à la main; à cet effet, il est muni d'un index et d'un cadran gradué.

Ce système de robinet automoteur diffère des systèmes généralement employés, en ce que, d'une part, la pression de l'eau ou de la vapeur lui donne de la liberté d'action, et que, d'autre part, il est situé extérieurement et peut, tout en étant automoteur, être commandé à la main, comme un robinet ordinaire.

Une soupape de trop-plein est ordinairement adaptée à la caisse à eau ou réservoir d'alimentation ; elle est en communication directe avec le tuyau d'alimentation, qui va de la pompe au générateur, et laisse retourner dans le réservoir, où puise la pompe alimentaire, toute l'eau fournie en excès par cette pompe.

Une crépine et un clapet de retenue sont situés sur la conduite d'eau, entre la pompe et le générateur.

La crépine est destinée à retenir les impuretés entraînées par l'eau d'alimentation venant de la pompe.

Le clapet de retenue a pour objet d'empêcher le retour de l'eau et de la vapeur vers la soupape de trop-plein.

Un tube diviseur de prise de vapeur est adapté à l'extérieur du collecteur supérieur; la vapeur est obligée, pour s'échapper au dehors, de se diviser, en passant à travers les petits trous dont ce tube est percé sur toute la longueur de sa génératrice inférieure.

Ces trous, dont la section augmente à mesure qu'ils s'éloignent de la sortie, ont

pour but de puiser la vapeur aussi également que possible dans toute la longueur du collecteur, pour régulariser le travail des éléments et éviter ainsi les soulèvements et entraînements d'eau, l'instabilité du niveau et la difficulté de le maintenir à une hauteur convenable ; faits qui, en l'absence de ce tube diviseur, résultaient des succions produites à l'orifice des éléments générateurs les plus rapprochés du tuyau de prise de vapeur.

L'action dépressive produite par la succion du tube de prise de vapeur ordinaire, agissant très-vivement sur les orifices des éléments les plus rapprochés, devenait insensible sur les orifices des éléments les plus éloignés. Il en résultait que des soulèvements et entraînements d'eau se produisaient dans les éléments sur lesquels cette action dépressive agissait le plus vivement, et qu'à l'inverse, l'eau ne pouvait s'élever ou se maintenir dans les autres éléments.

Un cylindre épurateur de vapeur est ordinairement adapté à la partie supérieure du générateur ; il est muni de soupapes à vapeur, d'attente pour les prises de vapeur, d'un robinet purgeur et d'un bouchon de nettoyage.

Un brise-flammes, ou sorte d'obturateur partiel, a pour but d'obliger le courant des gaz chauds à se diviser et à se répartir aussi uniformément que possible sur tous les points de la surface de chauffe.

Chacun des trois types principaux d'appareils est muni d'un brise-flammes d'une disposition spéciale, appropriée au mode de tirage et à la situation du point d'appel de la cheminée.

Les appareils du type transportable sont munis d'un échappement variable destiné à modérer ou à activer, selon le besoin, l'énergie du tirage dans la cheminée.

La disposition adoptée est aussi simple que possible ; elle se compose d'une tuyère de forme rectangulaire ; un des côtés de cette tuyère possède une valve mobile commandée par une vis qui sert à régler l'ouverture de la valve.

La tuyère est disposée de manière à ce que, dans une limite déterminée du parcours de la valve, le jet de vapeur soit maintenu sensiblement dans l'axe de la cheminée.

Cet organe, appliqué à tous les appareils à tirage artificiel, embarcations, grues, treuils, locomobiles, etc., remplit bien le but proposé.

Pour les appareils à tirage naturel, l'activité de la combustion est réglée à l'aide d'un registre ordinaire commandé automatiquement par un régulateur à capacité étanche composé de ressorts-disques en acier, système Belleville, renfermés dans une cuvette en fonte.

Ces ressorts sont analogues à ceux appliqués aux tampons des wagons et au recul des canons de la Marine impériale.

Tout le monde a pu les voir à l'exposition de MM. Petin et Gaudet.

Ils ont fait l'objet, en 1866, d'une communication à la Société par M. Jules Morandière.

M. Belleville indique que, sous l'action de la pression du générateur, ce régulateur, qui dispose d'une puissance d'action très-grande, ouvre ou ferme le registre de la cheminée, en raison du plus ou moins de pression de la vapeur ; et, modérant ou activant ainsi la combustion selon le besoin, il en résulte une fixité de pression très-remarquable.

Les appareils du type transportable sont renfermés dans une enveloppe composée de tôles et cornières.

Cette enveloppe est double sur toutes les faces de la partie qui contient les tubes générateurs.

Elle est simple et garnie de briques réfractaires, reliées ensemble par des goujons également réfractaires, dans la partie qui enveloppe le foyer.

L'enveloppe intérieure est assemblée à celle extérieure à l'aide de rivets entretoisés; l'intervalle des deux enveloppes est garni d'escarbilles, corps mauvais conducteur de la chaleur.

Les appareils du type fixe ont leur enveloppe composée de tôle et cornières pour la façade et la couverture, et de briques avec armatures en cornières pour les autres parties.

M. Belleville indique ensuite le mode de travail des appareils :

L'eau d'alimentation, fournie par une pompe ou par tout autre moyen, traverse la crépine, soulève le clapet de retenue et pénètre dans la partie supérieure du cylindre niveau, par l'orifice du robinet automoteur d'alimentation.

Le cylindre-niveau, étant en communication avec l'eau du générateur par le collecteur inférieur, et avec la vapeur par le collecteur supérieur, se trouve être ainsi en parfait équilibre de pression avec l'intérieur du générateur.

Du cylindre-niveau, l'eau d'alimentation pénètre dans le collecteur inférieur et s'élève simultanément dans les étages des divers éléments de tubes générateurs, jusqu'à ce que son niveau soit à la même hauteur, dans tous les éléments, que dans le cylindre-niveau, et, partant, dans le tube en verre de ce cylindre.

L'eau s'élève ainsi jusqu'à la hauteur déterminée par la régulation du robinet automoteur, qui entretient alors le niveau à une hauteur sensiblement invariable.

Les tubes du rang inférieur, c'est-à-dire ceux qui sont les plus rapprochés du feu, sont traversés par le courant d'eau, à la température la moins élevée : ils sont ainsi à l'abri des coups de feu.

C'est dans les deuxième et troisième rangs de tubes que l'ébullition est la plus active, et que les bulles de vapeur, à mesure qu'elles se dégagent, entraînent avec elles une quantité relativement grande d'eau à l'état vésiculaire; ces gouttelettes, auxquelles la vapeur sert de véhicule, se vaporisent rapidement au contact des tubes des étages supérieurs, puis, la totalité de la vapeur ainsi formée se dessèche avant d'arriver au cylindre épurateur, où elle se rend en passant à travers les orifices du tube diviseur de prise de vapeur, qui égalise le travail entre les divers éléments.

Du cylindre épurateur la vapeur se rend dans les appareils, machines ou autres, destinés à l'utiliser soit comme force motrice, soit comme chauffage, évaporation, cuisson, etc., etc.

M. Belleville fait ressortir que ces générateurs étant composés de tubes en fer, de 8 centimètres de diamètre, et ne possédant aucun réservoir exposé au feu, sont inexplosibles; le fait est trop évident pour qu'il soit contestable.

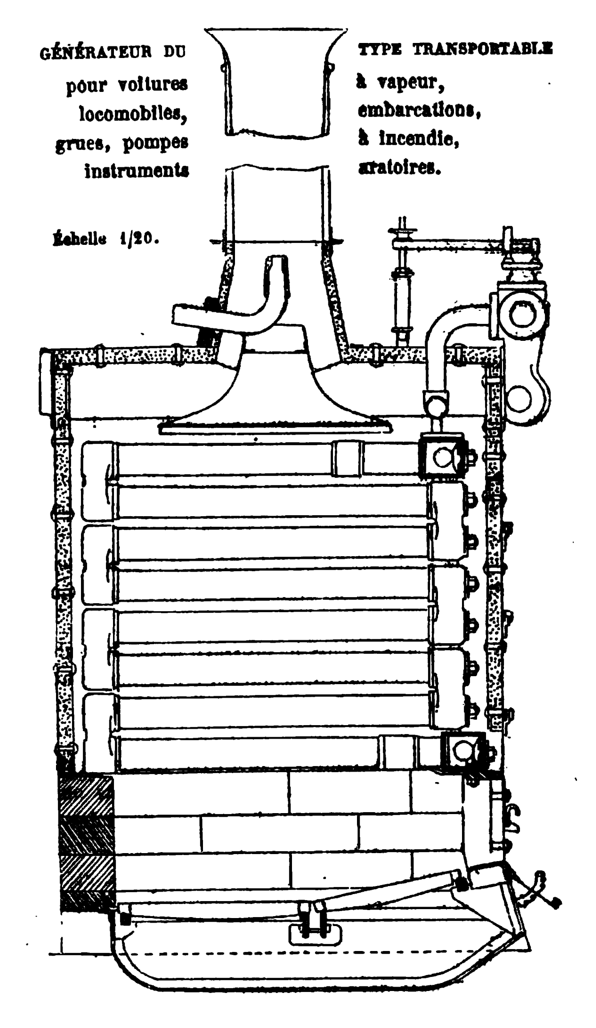
En effet, la rupture de l'un des tubes, faite dans la condition la plus défavorable, ne produirait qu'une simple fuite, et n'aurait d'autre conséquence que l'arrêt de la machine. Le générateur se vide aussitôt.

C'est toujours ainsi que les choses se sont passées, dans les quelques cas où ce fait s'est produit soit volontairement, soit accidentellement.

M. Belleville rappelle que dans le courant de l'année dernière, il a été question, dans cette Société, des générateurs de son système; il remercie les membres qui en ont parlé, mais il fait cependant remarquer que, dans les comparaisons avec d'au-

tres systèmes, on n'a pas fait mention de la sécurité qu'ils procurent; l'inexplosibilité est cependant un avantage sérieux au premier chef, et la chose est si vraie que, si tous les systèmes existant étaient inexplosibles et qu'on vienne en proposer un plus économique, mais susceptible d'explosion, on le repousserait assurément sous l'impression que fait naître tout danger auquel on n'est pas habitué.

Ce système de générateur donne une régularité de production et de pression très-remarquable, et qui étonne à première vue; ce résultat important est obtenu sans l'aide des volumes dangereux d'eau bouillante que renferment les chaudières ordi-



naires, qui par ce fait sont explosibles, encombrantes et longues à chauffer, mais simplement par l'emploi du régulateur de registre, dont il a été parlé, et aussi de l'automoteur d'alimentation.

Ce régulateur, en activant ou modérant automatiquement la combustion dans le

foyer, règle la consommation du combustible en raison des besoins du travail. Il suffit, pour que la régularité soit parfaite, que le foyer soit toujours pourvu d'une quantité suffisante de combustible. Ce combustible forme comme une provision de chaleur, qui, aussitôt que le tirage devient plus actif par l'ouverture plus grande du registre, se développe et augmente la production de vapeur.

Dans ces conditions, la réserve existe dans le foyer et se trouve ainsi déplacée en toute sécurité.

Le volume des générateurs du type fixe n'est qu'environ le cinquième du volume des chaudières à bouilleurs; il est d'environ un tiers moindre que celui des chaudières marines; l'économie de place est d'à peu près 40 pour 100 sur les embarcations de l'État.

Les appareils du type transportable (voir la figure ci-contre) donnent une économie importante de poids : elle atteint 40 p. 100 pour les embarcations qui étaient munies de chaudières en tôle d'acier avec tubes en cuivre, et plus de 50 pour 100 pour les grands appareils marins.

L'économie de combustible provient de la bonne utilisation de la chaleur qui résulte :

1° De la disposition spéciale des surfaces de chauffe et de leur grande division;

2° Du groupement des surfaces près de la source de chaleur;

3° De la division des gaz chauds en lames minces qui se mélangent et abandonnent graduellement leur chaleur au contact successif des tubes superposés ;

4° De l'active circulation à l'intérieur des tubes dont la conductibilité est ainsi bien utilisée;

5° De l'état de propreté des surfaces, résultant de la grande facilité de nettoyage intérieur et extérieur des tubes;

6° De la possibilité de production de vapeur sèche, plus puissante que celle humide.

Les nettoyages s'effectuent à l'intérieur et à l'extérieur des tubes générateurs avec facilité et promptitude par des portes établies dans ce but.

L'intérieur des tubes où se déposent les sels calcaires est accessible par les orifices des bouchons; le nettoyage s'opère promptement à l'aide d'un simple outil de forage, disposé spécialement à cet effet.

Le nettoyage extérieur consiste dans le brossage facile des tubes pour les débarrasser du noir de fumée et des cendres, si nuisibles à la bonne utilisation de la chaleur. Ce nettoyage s'opère aussi plus promptement encore à l'aide d'une lance à vapeur.

Les nombreuses applications existantes démontrent que les réparations sont rares, mais toujours faciles et promptes en ce que tous les éléments ou tubes, qui composent un appareil, sont identiques et se remplacent par des tubes ou éléments similaires, qu'on peut avoir en provision.

Un guide de réparation imprimé donne la marche à suivre, et, en s'y conformant, un ouvrier mécanicien ou serrurier peut faire une réparation importante en 24 heures et même en une nuit.

Jusqu'à soixante chevaux au moins, ces générateurs sont compris par le fait de leurs faibles volume et capacité dans la moindre catégorie des chaudières, et sont en conséquence applicables dans un lieu quelconque, même aux étages de maisons habitées.

On peut donc toujours, à l'aide de ces appareils, disposer d'une force motrice importante quelles que soient la disposition et la situation des ateliers.

M. Belleville indique que ses générateurs inexplosibles procurent des avantages tellement importants, qu'il ne serait pas rationnel de comparer leur prix à ceux des systèmes ordinaires sans faire entrer en ligne de compte ces avantages, dont la réalisation a nécessité l'emploi de matières premières d'une plus grande valeur, et une main-d'œuvre plus considérable.

Le prix de ses générateurs, inférieur en général à celui des chaudières tubulaires, est supérieur à celui des volumineuses chaudières à bouilleurs ; mais cette différence n'est qu'apparente en ce sens que :

1° A force nominale égale ils produisent plus de vapeur que la généralité des chaudières ordinaires à bouilleurs, ce qui réduit comparativement leur prix ;

2° L'économie considérable, réalisée sur les dépenses de la maçonnerie et des bâtiments nécessaires aux volumineuses chaudières ordinaires ainsi que sur la place, réduisent aussi sensiblement le prix des générateurs inexplosibles montés ;

3° Enfin, l'économie de combustible que procurent ces appareils, comparée à la généralité des chaudières à bouilleurs est telle, qu'en général elle équivaut à la valeur totale du générateur en peu d'années ; tandis qu'au contraire le prix d'acquisition des chaudières s'augmente chaque année de la valeur du combustible dépensé en trop ;

4° Il faut remarquer aussi que le prix des chaudières à bouilleurs ou autres augmenterait notablement si on devait leur donner des épaisseurs qui leur permissent de fonctionner à 10 ou 12 atmosphères, ou bien encore si on leur donnait une surface de chauffe suffisante pour vaporiser autant que ses générateurs, et cela sans une dépense exagérée de combustible.

M. le Président remercie M. Belleville de sa communication ; l'heure avancée, ne permettant pas d'entamer une discussion, elle sera renvoyée à la prochaine séance.

MM. Carpi, Deprez, Elwell (Thomas), d'Eichthal, Gauthier, Goldschmidt, Hangard, Lepainteur, Pajot, Pichault, Schwœblé, Taillard et Vieillard ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 7 Février 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 24 janvier est adopté.

M. le Président annonce que la Société a reçu un exemplaire de l'ouvrage de M. Laurent (Auguste), sur les baromètres et manomètres anéroïdes, et un bulletin donnant la situation des travaux de creusement du canal de Suez ; un bulletin mensuel semblable sera adressé dorénavant à la Société jusqu'à fin des travaux.

Il est procédé au vote sur la nomination d'un membre du comité, en remplacement de M. Flachat, nommé président honoraire. M. Brüll, ayant réuni la majorité des suffrages, est nommé membre du comité.

M. Ball donne communication d'une note sur l'anti-incrustateur magnétique, et sur les chaudières du système Field ; il fait quelques expériences destinées à donner une idée de la rapidité de la circulation dans les appareils de ce système.

M. Ball indique qu'il y a dans la production de la vapeur une condition des plus importantes, tant comme économie de combustible que comme durée des chaudières, et sécurité dans leur emploi ; cette condition est, comme tout le monde sait, la diminution, la suppression si possible des dépôts calcaires. M. Ball n'insiste pas sur l'importance de ce sujet, qui est trop connu pour avoir besoin d'être discuté ; il se borne à remarquer qu'il n'y a que deux méthodes actuellement en usage pour résoudre le problème : l'une, celle que tout le monde connaît, et qui consiste à enlever les dépôts de temps en temps ; l'autre, qui consisterait à empêcher les calcaires de se former.

L'anti-incrustateur magnétique rentre dans la catégorie des panacées très-nombreuses, trop nombreuses peut-être, qui tentent de satisfaire à la seconde méthode.

Le mode d'action de ce nouveau moyen est inexpliqué jusqu'ici, du moins à sa connaissance. On a, bien entendu, invoqué l'action de l'électricité, à laquelle on prête beaucoup, et qui, M. Ball ne l'ignore pas, rend encore plus peut-être ; mais, à son avis du moins, il n'y a rien de bien clairement prouvé jusqu'ici.

M. Ball expose l'historique du nouveau système et en décrit la construction.

Il y a environ deux ans, cet appareil, d'origine américaine, fut introduit en Angleterre par M. Baker, concessionnaire des brevets européens. Appliqué d'abord par M. Livesey, ingénieur assez connu dans l'industrie du gaz, il fut reçu avec beaucoup d'incrédulité. Au bout de quelque temps, néanmoins, M. Livesey fit savoir que l'action de l'appareil Baker était réelle et efficace ; que les dépôts ne se formaient plus, et que les anciennes couches se détachaient et tombaient en écailles. Cette déclaration faite par une voix autorisée amena de nouvelles expériences pratiquées un peu partout, et qui parurent confirmer les résultats des premiers essais ; il parut néanmoins bientôt que ces faits, très-intéressants, n'étaient malheureusement pas seuls, et que nombre de cas se présentaient dans lesquels l'action n'était que temporaire, et s'éteignait bientôt, ou présentait des irrégularités, des variations d'intensité considérables.

Il parut prouvé que les pointes en fer s'oxydaient ou se chargeaient d'une mince couche de tartre, et que, dès lors, l'effet de l'appareil cessait de bonne heure. Les pointes en fer furent dorées, mais elles se dédorèrent bientôt, et les mêmes inconvénients se reproduisirent. Elles furent terminées par une fine pointe en platine rapportée à l'extrémité du rayon en fer. Les résultats devinrent alors réguliers, et l'appareil, dont la fabrication fut concentrée entre les mains de M. Kilson de Leeds, se répandit assez rapidement, et depuis lors a donné satisfaction à ceux qui l'emploient, à condition d'être soigneusement entretenu.

Cet anti-incrustateur se compose simplement d'une sorte de peigne métallique circulaire, avec quelques pointes en platine, fixé à la chaudière près de la prise de vapeur au moyen d'un support isolateur. Un fil de cuivre s'en échappe, est conduit à l'autre extrémité de la chaudière, soutenu de temps en temps, et selon les besoins

du parcours, par des supports isolateurs, et se termine enfin par un support de contact.

Voilà tout le système. Comment et pourquoi opère-t-il? C'est là la question.

Appelons donc l'électricité à notre aide. Le frottement de la vapeur sur les pointes produit par le courant de vapeur qui s'engouffre dans les prises de vapeur, ce frottement, dit-on, dégage de l'électricité, qui, s'écoulant par le fil conducteur, revient par la surface de la chaudière. Ce courant électrique entretient une sorte de perturbation moléculaire à la surface intérieure du métal, attraction des molécules terreuses par les molécules métalliques, à cause de la nature opposée des électricités dont ces atomes sont chargés. Après le contact, répulsion, les électricités étant de même nom; de là absence d'adhérence et formation de précipités boueux. Les anciennes écailles se détacheraient sous l'influence de la même cause agissant longtemps, et finissant par dissocier le métal de la pierre. Alors les inégalités de dilatations, ou peut-être l'arrivée de petites portions d'eau sous la couche calcaire, avec la production subite de vapeur qui en résulte, produiraient la désagrégation des dépôts et leur fracture en menus fragments.

Dans tout ceci, un seul fait électrique est certain, c'est que le galvanomètre indique un léger courant dans le fil de la chaudière, mais il est si léger, que l'on se demande réellement s'il peut avoir aucune influence.

Néanmoins, et pour conclure, l'appareil fonctionne, quoique la cause de son fonctionnement ne soit pas bien démontrée, et il est très-efficace, à condition d'être bien construit, bien entretenu, et que sa puissance soit en rapport avec la surface métallique à préserver.

Chaudière Field. — Le problème dont il vient d'être parlé, qui consiste à empêcher les dépôts de se former, est résolu d'une façon toute différente et bien plus victorieuse par le second appareil dont M. Ball va parler.

Une chaudière, au point de vue de M. Ball, doit, autant que possible, réunir les trois conditions suivantes :

1° Économie de combustible;

2° Maximum de surface de chauffe dans un minimum de volume;

3° Toutes les conditions pratiques de bon marché, sécurité, construction simple, réparations faciles, etc.

Voyons jusqu'à quel point la chaudière Field réunit les desiderata que M. Ball vient de mentionner.

Économie de combustible. — Pour qu'une surface métallique transmette bien la chaleur, il faut, d'après Péclet, que la fraction $\frac{(T-t)k}{e}$ soit aussi grande que possible :

T température extérieure;
t température intérieure;
e épaisseur;
k coefficient conductibilité.

Néanmoins, toujours suivant le même auteur, pour que l'épaisseur influe sur la transmission de la chaleur, il faut qu'il y ait agitation et mouvement rapide de l'eau.

Nous chercherons donc à rencontrer dans les types de chaudières perfectionnées que l'on nous présentera au point de vue de l'économie de combustible :

1° Des surfaces métalliques minces;

2° La meilleure conductibilité possible, afin que k soit maximum;

3° Une circulation rapide pour bénéficier de la faible valeur de e;

4° Et la chaudière devra avoir la plus grande puissance d'absorption du calorique qu'il sera possible de réaliser, afin qu'avec un T, une température de foyer maxima, condition des plus avantageuses, il n'y ait néanmoins que peu de chaleur s'échappant par la cheminée.

La première condition sera réalisée par la chaudière Field, puisque nous employons des tubes auxquels nous pouvons donner de très-faibles diamètres, grâce à la circulation qui s'y établit, ainsi que M. Ball le démontrera tout à l'heure, et que par conséquent ces tubes pourront n'avoir que des épaisseurs minimes; en outre, la pression qui s'exerce de l'intérieur à l'extérieur est plus favorable au métal que la pression de l'extérieur à l'intérieur. Nouveau motif qui permet de compter sur des épaisseurs réduites.

La question de conductibilité est peut-être la plus importante du programme. Mettant à part la question de métal, qui varie suivant les besoins des différents cas, il reste le point capital dans cette chaudière, au point de vue des usages courants, c'est l'absence de dépôts.

M. Ball remet à M. le Président deux tubes qui ont servi plus de deux ans dans l'une des premières chaudières établies. Type Cornouaille, alimentée par l'eau de Londres. Une chaudière identique accouplée avec celle dont proviennent les tubes, avait besoin comme la grande majorité des chaudières d'un nettoyage bihebdomadaire. Ces tubes, ainsi que l'on peut le constater, n'ont pas d'incrustation.

Quand les tubes sont placés, il se produit, dès les premiers jours, la pellicule calcaire ayant peut-être 1/4 de millimètre qu'on peut observer sur ces tubes; à partir de ce moment il se produit un *statu quo* qui est définitif.

M. Ball donne l'explication de ce fait.

La chimie enseigne que les précipitations qui sont cristallines et dures, dans un milieu tranquille, deviennent, dans un milieu très-agité, amorphes et pulvérulentes.

Dès lors dans un milieu comme celui de la chaudière en question, entraînés dans tous les sens par des courants torrentiels, les précipités ne peuvent prendre de texture serrée, ni acquérir de cohésion, mais ils flottent en suspension moléculaire dans l'eau de l'appareil. Ils ne peuvent se précipiter dans les tubes où règne un double courant d'une intensité très-grande, et ils ne trouvent le repos que dans les bas côtés de la chaudière, où il n'y a pas, pour ainsi dire, d'ébullition; ils s'y rassemblent donc et s'y retrouvent au nettoyage, ainsi que l'expérience l'a démontré, sous forme d'une boue sans consistance. On les expulse du reste souvent en marche par les robinets de vidange, et alors il n'y a besoin d'aucun entretien ultérieur. L'action désastreuse des dépôts sur le coefficient k est bien connue.

Combien donc une chaudière qui s'entretient sans aucun soin, sans même d'anti-incrustateur magnétique, n'est-elle pas supérieure à toutes ses congénères, quels que soient leurs arrangements en vue du nettoyage, soit qu'on les crible d'ouvertures pour les rendre accessibles au burin et au grattoir, soit que l'on fore à nouveau, de

quinzaine en quinzaine et grâce à des outils ingénieux, les tubes qui les composent pour en retirer de curieuses concrétions, soit enfin qu'elles se prêtent à un démontage facile de leurs parties intérieures.

M. Ball a dit que dans le chapitre Économie de combustible il y avait une troisième condition à remplir. Une circulation rapide est nécessaire afin de satisfaire aux données théoriques qu'il empruntait tout à l'heure au savant ouvrage de Péclet.

Il a déjà parlé de cette circulation, mais il croit utile de répéter qu'elle est très-rapide, et que pour un tube de 1m,20 de longueur, et de 50 millimètres de diamètre elle a pu atteindre dans des expériences très-curieuses 4 mètres par seconde. Le courant est suffisant pour ramener à la surface de la grosse grenaille de plomb, et dans le petit modèle que M. Ball présente à la Société, le sable que l'on place dans le tube de façon à engorger l'appareil.

La quatrième condition est que les surfaces exposées au feu absorbent très-bien le calorique, afin que l'on puisse avoir un feu très-vif dans le foyer, et très-peu de perte de chaleur par la cheminée. Ces conditions étant remplies, M. Ball se borne à citer un chiffre officiel relevé dans un concours à Cologne : température du foyer 1200°, température de la cheminée 350°, distance du foyer à la cheminée environ 1 mètre.

Passant de la théorie aux faits, M. Ball donne ci-dessous les résultats d'une expérience.

Essais comparatifs entre deux chaudières cornouailles du même massif, égales, alimentées avec la même eau, chauffées avec le même charbon et ayant la même cheminée.

	CHAUDIÈRE ORDINAIRE. 18 mars 1866.	CHAUDIÈRE FIELDIFIÉE (36 tubes). Il n'y a qu'un 1/4 des tubes qu'elle pourrait recevoir. 18 déc. 1865.
Durée de l'expérience	73 heures.	76 heures.
Charbon brûlé	11,200 livres	11,200 livres.
Eau évaporée en tout	93,840 livres	104,800 livres.
Eau évaporée pour 1 de charbon.	8,37	9,36
Économie de combustible	—	13°/o
Économie de place	—	12°/o

Si les tubes avaient été complets, l'augmentation de production aurait été d'environ 30 pour 100.

Voici deux autres résultats industriels :

Chaudière n° 3.

Diamètre	1m,130	Machines	12 chevaux
Hauteur	2m,250	Diamèt. du cylindre.	30 cm.
		Course	40 cm.
Diamètre des tubes 43 millimèt..		Détente variable...	—
Surface de grille 63 déc.		Tours	100 par 1'
		Pression	4 at.

Consommation 28 k. de charbon ordinaire par heure.

Ing. Richard Cobden. H chaudière.	Hauteur	1m.800
D —	Diamètre	1m.500
Grille.	Surface	54 déc.²

En dehors de la boîte à feu, surface de chauffe tubulaire......		13 me
Nombre de tubes..		172
Machine.	Cylindres..............................	2
	Diamètre................................	33 c.
	Course..................................	38 c.
	Nombre de tours par 1'...............	50 à 60
	Pression................................	3 1/2 at.
	Admission..............................	6/10
	Consommation précédente.............	125 à 150 k. heure.
	— actuelle.................	75 k. heure.
	Meut aisément 2 barques de 70 tonnes à 2 k. à l'heure.	

Examinant ensuite le fonctionnement de la chaudière Field, M. Ball décrit la construction d'une chaudière verticale de forme cylindrique.

A l'intérieur se trouve, comme cela se fait habituellement, un foyer entouré d'eau.

Le ciel du foyer est percé de trous assez rapprochés et légèrement coniques; on introduit dans ces ouvertures un même nombre de tubes en fer ou en cuivre, de longueur telle qu'ils restent suspendus à une certaine hauteur dans le foyer, ces tubes étant bouchés dans le bas. Avec un mandrin d'acier également conique et sur lequel on frappe à coups de marteau, on élargit l'entrée de chaque tube, déjà rendue un peu conique à l'avance, et on les force à s'incruster, s'emboutir et se river dans la tôle du foyer.

Dans ces premiers tubes on descend d'autres tubes ouverts aux deux bouts et de diamètre moitié plus faible (leur épaisseur est insignifiante), s'arrêtant à quelques centimètres du fond des premiers; leur extrémité supérieure est évasée en entonnoir, et ils sont suspendus librement dans les premiers par une sorte de trépied formé de trois petites ailettes qui viennent les arrêter au niveau voulu, pour que le petit cornet soit à quelques centimètres au-dessus de l'orifice du gros tube.

L'eau de la chaudière vient remplir ces tubes en dépassant le plus petit d'une certaine hauteur, suivant la capacité de l'appareil. On allume le feu, et voici ce qui se passe :

L'eau conteuue dans l'espace annulaire se chauffe dès la première atteinte du feu, car le métal de chaque tube est très-mince, en raison de son petit diamètre et du sens de la pression qu'il doit supporter, qui est intérieure. Mais aussitôt le liquide se dilate, diminue, par conséquent, de densité, et la colonne annulaire, devenant plus légère, tend à monter et est immédiatement remplacée par la colonne d'eau intérieure; plus la chaleur devient intense, plus la circulation s'accélère, jusqu'au moment où la colonne extérieure contenant des globules de vapeur, et bientôt même de gros globules, sa densité arrive à être si faible, comparativement à celle du noyau intérieur, que la ciculation devient un torrent, une véritable chute d'eau, entraînant les molécules liquides avec une telle vitesse qu'elle atteint 3 mètres par seconde et les dépasse, et que toute l'eau (2,500 litres) d'une chaudière de 80 chevaux, construite sur ce principe, traverse les tubes, comme on a pu le constater, dans l'espace de temps de six secondes.

M. Ball fait fonctionner le modèle. Le tube étant en verre, l'on voit la circulation se développer et atteindre les limites indiquées précédemment. M. Ball insiste sur ce fait que ce mouvement est dû à la présence du tube intérieur, et enlevant

ce tube il fait voir que l'ébullition est entièrement troublée et n'a plus lieu que par des sortes d'explosions, causées par le dégagement de cloches de vapeur, qui projettent le liquide en tous sens, et exposent le tube à être *brûlé*. *Il* réalise aussi les faits annoncés pour l'expulsion du sable.

Après avoir montré que la chaudière Field donne de bons résultats au point de vue de l'économie de combustible, et avoir décrit sa construction et son fonctionnement, M. Ball passe au second chapitre.

Maximum de surface de chauffe dans minimum de volume.

1° La surface de chauffe est très-active et 1^{mc} suffit amplement par cheval de force. Dans des cas extrêmes avec tirage forcé, on a pu descendre à 1/2 $^{m^2}$ et même 1/3$^{m^2}$, comme dans les pompes à incendie;

2° La chaudière est tubulaire, dès lors peu volumineuse, comme tous les appareils de ce genre. On peut réduire considérablement le diamètre des tubes, ce qui permet de concentrer la surface de chauffe.

Ainsi, lorsqu'il s'agit de produire très-rapidement de la vapeur et de n'avoir que des chaudières extrêmement légères et tout à fait portatives, alors les dispositions de la chaudière Field permettent d'obtenir des résultats incomparables.

Les dimensions des chaudières exécutées pour MM. Merryweather et Sons, pour pompes à incendies, et primées au concours général de Cologne, étaient, d'après les chiffres officiels :

Diamètre extérieur de la chaudière.................................. 0^m,700
Hauteur totale.. 1^m,400

La force étant de 21 chevaux, travail régulier.

Le poids total de la pompe, y compris la chaudière pleine d'eau et la machine, 1730 kilog.

Le temps nécessaire pour obtenir la pression, à partir de l'allumage du feu, l'eau ayant environ 6° à 7° centigrades, 7 minutès 28.

Au même concours, la machine *le Sutherland* lançait l'eau d'une façon continue, à 55 mètres de haut, par un orifice de 41 millim., et la chaudière qui fournissait un si énorme travail n'avait que 0,95 sur 1^m, 40 de hauteur, tandis que le poids total de l'ensemble fonctionnant n'atteignait pas même 3,000 kilog. Pour obtenir de pareils résultats, qu'aucun autre genre de chaudière ne pourrait atteindre, il a suffi de multiplier le nombre des tubes et de diminuer toutes les autres parties de la chaudière. On a supprimé l'enveloppe d'eau autour du foyer, et les tubes employés sont d'un diamètre moindre que dans les autres applications de la chaudière Field; ils sont disposés de telle sorte que ceux des rangs extérieurs forment, pour ainsi dire, autant d'enveloppes autour du foyer, partant une bien plus grande surface de chauffe.

Des résultats analogues ont été constatés à l'Exposition de 1867, où des pompes à incendie, munies de la chaudière Field ont remporté la médaille d'or.

Conditions pratiques de surveillance, de sécurité et d'entretien.

Sous ce rapport, la chaudière Field ne laisse rien à désirer, et présente une grande supériorité sur les chaudières tubulaires dont les joints de tuyaux fuient souvent par suite des dilatations et contractions des tubes, qui, fixés aux deux extrémités, ne peuvent manquer de se disjoindre plus ou moins au bout de quelque temps.

Ici, au contraire, l'expansion et la contraction sont libres, puisque le tube n'est

retenu qu'à une extrémité; plus de bagues pour fixer les tubes, car la pression est intérieure et non extérieure, comme dans les autres types.

La construction est simple par suite de la façon commode et rapide dont on peut fixer les tubes, par conséquent, son prix est très-modéré; l'entretien en est facile, puisque rien n'est plus aisé que de remplacer les pièces les plus exposées au feu, c'est-à-dire les tubes.

Après avoir examiné si la chaudière Field réalise les trois conditions générales qu'il considère comme essentielles à tout système qui se présente comme un progrès et avoir démontré théoriquement d'abord, matériellement ensuite, par le fonctionnement du modèle et l'examen des tubes qu'il a présentés que ces conditions sont remplies, M. Ball donne en quelques mots l'état actuel de l'emploi industriel de cette chaudière.

Angleterre. — Environ 40 à 45,000 tubes de placés dans les vieilles chaudières, environ 400 chaudières neuves marines; la première chaudière expérimentée un an en eau de mer n'a donné aucun dépôt (Lewis-Olrick, Londres). Dans le mois de janvier 1868 seul 400 tubes ont été placés dans des chaudières-marines.

France et Belgique. — Environ 40 chaudières construites, dont voici quelques-unes:

Cockerill, pour la Pologne;

Nolet, Belgique, pour un bateau;

M. de Wendel;

De Hemptine, en Belgique;

Malo;

Giffard, pour son ballon;

Chemin de fer de l'Est (M. Vuillemin a bien voulu apporter et faire voir aux membres un dessin de la chaudière Field, 40 chevaux, des ateliers d'Épernay);

Chemin de fer d'Orléans;

Calla, 4 pour M. Nivert, nettoyage des maisons;

Vieille-Montagne, 4 de 40 chevaux;

Pompes à incendie, Lyon et Bordeaux.

M. Ball fait observer que l'expérience sur une très-large échelle a consacré de la façon la plus positive les prévisions favorables qu'avait fait naître la chaudière Field, et que, par conséquent, il est probable que cet appareil aura pris avant peu, en France et dans les autres pays, toute la place que ses mérites considérables lui assignent.

M. Burel demande la parole pour rappeler à l'attention de la Société l'appareil anti-incrustateur, dit paraliton, imaginé par un chauffeur de Lille, et qui se compose d'une gouttière en tôle située à la partie inférieure de la chaudière, et maintenue par de petits supports à une certaine distance de la paroi. Les dépôts calcaires vont se déposer dans cette gouttière, qu'il est facile de retirer et de nettoyer.

M. Maldant rappelle que dans la séance du 2 août 1867 il a entrenu la Société des générateurs à vapeur, et particulièrement, de la chaudière Field.

Il croit que dans l'état actuel de l'industrie des générateurs, la chaudière Field est celle qui représente au plus haut degré ce qu'il a appelé les tendances nouvelles révélées et justifiées par l'Exposition universelle.

Sans vouloir discuter en ce moment, la valeur relative des divers systèmes, il dira

quelques mots d'expériences personnelles qu'il a eu occasion de faire à diverses époques, en vue d'augmenter les facilités de circulation d'eau dans des chaudières existantes; pensant que le résultat de ces expériences pourra encourager les propriétaires et les constructeurs de chaudières à faire dans le mêmes sens des tentatives dont il croit pouvoir d'avance leur assurer le succès.

M. Maldant trace sur le tableau une chaudière verticale à foyer et enveloppe cylindriques et concentriques. Il explique que, dans l'origine, l'épaisseur de la couche d'eau autour du foyer étant d'environ 8 centimètres, la circulation était très-gênée et plusieurs chaudières de ce type ont éprouvé des détériorations assez rapides dans les parties basses du foyer en contact avec le combustible. M. Maldant a eu alors l'idée de diviser la couche d'eau par l'intermédiaire d'un cylindre en tôle galvanisée mince, concentrique au foyer et à l'enveloppe et d'un diamètre à peu près moyen entre les diamètres de ces deux parties de la chaudière.

Ce cylindre diviseur, suspendu par le haut, arrivait environ à 5 centimètres au-dessus du bas de la couche d'eau, dans sa partie inférieure.

Une circulation convenable et rapide a été le résultat immédiat de cette division de la couche d'eau et une augmentation notable dans la production de la vapeur en a été aussi la conséquence.

M. Maldant recommande cette pratique extrêmement simple à tous les propriétaires de générateurs anciens à circulation difficile; et particulièrement aux Compagnies de chemins de fer. Il est persuadé que l'adjonction d'un diviseur d'après le principe qu'il vient de faire connaître à la Société, et approprié au passage des entretoises des foyers de locomotives, produirait des résultats excellents comme vaporisation et comme conservation des foyers de locomotives.

M. le Président ouvre la discussion sur les chaudières Belleville.

M. Dieudonné demande si le foyer peut suppléer à l'absence du réservoir de force fourni dans les autres chaudières, par le volume de vapeur et la masse d'eau en ébullition; on comprend qu'avec les moyens indiqués par M. Belleville on puisse augmenter ou ralentir l'activité du feu. Cependant, il est nécessaire que le feu conserve pendant les arrêts de la machine un degré d'intensité suffisant pour fournir à la consommation de la machine aux premiers moments de la reprise. Avec ce degré d'intensité, les soupapes doivent cracher, et on doit perdre de la vapeur pendant les arrêts. Il demande encore si le giffard peut être employé à l'alimentation de la chaudière Belleville dans les temps d'arrêt. On sait que les appareils Giffard sont sensibles aux variations de pression, et pour ce motif il semble qu'ils ne conviennent pas aux chaudières de M. Belleville. Ce serait un inconvénient.

M. Belleville répond que la régularité est obtenue facilement dans les usines dont la marche est continue, ou ne nécessite que des temps d'arrêt peu nombreux, comme dans les filatures. Pour les locomotives soumises à des arrêts fréquents, il observe que la régularité dans le maintien de la pression a une moindre importance.

Sur les bâtiments de guerre, où des arrêts subits peuvent être ordonnés en pleine marche, les chauffeurs, habitués à cette manœuvre, ouvrent les foyers et ferment les cendriers dès que retentit l'ordre de faire stopper la machine; le feu noircit aussitôt; les soupapes peuvent cracher un peu, mais cet effet est de courte durée; on pourrait à la rigueur ouvrir le robinet de décharge.

Pour les foyers à tirage artificiel, comme les foyers de locomotive, l'arrêt de la

machine, et par suite de l'échappement de vapeur, entraîne l'arrêt de la combustion et la cessation de la production de vapeur.

Le giffard est applicable, parce qu'on a pris la précaution de mettre sa prise de vapeur dans la chaudière tout à fait à l'origine et non à la suite de l'appareil diviseur, après lequel la vapeur a subi une diminution de pression qui pourrait nuire au bon fonctionnement du giffard.

M. Dieudonné demande si l'économie de combustible a été reconnue sur des chaudières en long service régulier, ou avec des arrêts réitérés.

M. Belleville répond qu'il n'a pas été fait spécialement d'expériences avec des arrêts multipliés. Sa chaudière est susceptible d'une grande variation de pression, pouvant être timbrée de 8 à 10 atmosphères lorsqu'elle ne marche qu'à 6, et par suite l'élévation de pression au moment d'un arrêt ne fera pas toujours cracher les soupapes autant qu'on pourrait le croire *à priori*.

M. Dieudonné fait observer qu'il y a bien peu d'eau pour compter que la pression ne montera pas de 2 ou 3 atmosphères subitement au moment de l'arrêt.

M. Belleville répond que la production de la vapeur cesse au moment de l'arrêt, le feu noircissant aussitôt par suite de la fermeture des registres.

M. Lissignol observe que des bateaux à vapeur, comme ceux qui font le service sur la Seine actuellement, peuvent être assujettis à des arrêts fréquents.

M. Belleville cite un bateau porteur dont la chaudière a été remplacée par une chaudière de son système, qui a produit une économie de 30 à 40 p. 100.

M. Ball demande si une économie aussi considérable ne peut pas être attribuée, au moins en grande partie, à ce que la chaudière primitive était très-mauvaise.

M. Belleville pense que cette économie considérable doit être attribuée surtout à l'emploi de la vapeur sèche fournie par sa chaudière, ce qui évite des condensations suivies d'évaporations nouvelles dans les cylindres non munis d'enveloppe de vapeur, surtout dans les machines à condensation. Le cylindre se refroidit pendant la condensation.

Au coup suivant la vapeur, si elle n'est pas surchauffée, se condense en partie sur les parois du cylindre, pour se volatiliser de nouveau quand la communication avec le condenseur est rétablie ; cette vapeur est donc perdue ; le même phénomène ne se produit pas avec la vapeur sèche, qui échauffe le cylindre sans donner lieu à une condensation sur ses parois.

M. Le Brun demande quelle est la tenue du manomètre lors des arrêts.

M. Belleville répond qu'il continue à monter pendant quelques instants après l'arrêt, plus ou moins suivant le degré d'intensité de la combustion.

La sensibilité au manomètre, la variabilité de pression est évidemment dépendante des volumes d'eau et de vapeur ; une chaudière de locomotive ordinaire est bien plus sensible qu'une chaudière fixe à bouilleurs. Ses chaudières se prêtent même au service des machines de filatures, grâce à la régularité qu'on obtient par l'emploi des appareils additionnels qu'il a décrits dans la séance précédente.

On fait observer que la régularité de la marche des machines de filature doit être attribuée en grande partie à la construction de ces machines elles-mêmes, dont les régulateurs parent aux variations de pression de la chaudière.

MM. Halley et Stoclet ont été nommés membres sociétaires.

Séance du 21 Février 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 7 février est adopté.

M. le Président annonce que M. Andry, membre de la société, a été nommé chevalier de l'ordre de Léopold de Belgique.

Il annonce aussi la mort de deux membres, MM. Léon Foucault de l'Académie des sciences, et de Planhol, ingénieur de chemins de fer.

M. le Président espère que MM. Yvon-Villarceau voudra bien rédiger une notice sur les travaux de son illustre collègue de l'Institut, et que M. Richard se chargera de la notice nécrologique relative à M. de Planhol, dont il a été le collègue aux chemins de fer de l'Ouest.

M. le Président donne communication d'une note relative à l'avancement des travaux de l'Isthme de Suez à la date du 15 janvier dernier.

Cube total à extraire	74 112 130	mèt. cubes.
Cube total extrait dans le mois de décemhre.	1 130 386	—
Cube total extrait précédemment	33 955 555	—
Cube total extrait à ce jour	35 085 941	—
Cube restant à extraire	39 026 189	—
Nombre de dragues en marche	48	
Nobre de dragues à mettre en fonction	12	
Nombre de terrassiers	8,795	

Jetées de Port-Saïd.

	Jetée Ouest.	Jetée Est.
Longueur actuelle	2,450^{m}	1,500^{m}
Fond atteint	8^{m},20	5^{m},50
Cube total de blocs à immerger	250,000 mètres cubes.	
Cube de blocs immergé dans le mois	4,472	3,445 m. cub.
Cube immergé précédemment	130,249	35,851
Cube total de blocs immergé	134,721	39,026
Cube restant à immerger	76,253	

L'ordre du jour appelle la communication de M. Charles Martin sur la fabrication du papier et la représentation de cette industrie à l'Exposition de 1867.

M. Martin rend compte, au nom de la 16e section, de la partie mécanique de la question; M. Poinsot s'étant chargé de tout ce qui regarde la question chimique.

Après avoir fait remarquer que les diverses opérations qui constituent la fabrica-

tion du papier peuvent être divisées en quatre groupes: 1° délissage, bluttage et lessivage; 2° défilage, blanchiment et raffinage; 3° fabrication proprement dite; 4° apprêtage, M. Martin dit n'avoir rencontré dans le premier groupe qu'un seul appareil à l'Exposition universelle: c'est la coupeuse de chiffons de MM. Brian-Donkin et Cie, de Londres. Cet appareil diffère essentiellement de la coupeuse de chiffons employée dans quelques papeteries et qui a la plus grande analogie avec le hache-paille des cultivateurs.

Dans la coupeuse de MM. Donkin et Cie, une toile sans fin amène sous les rouleaux alimentaires les chiffons que ces rouleaux présentent à l'action de trois lames animées d'un mouvement alternatif de haut en bas et de bas en haut. L'une de ces lames est placée parallèlement à l'axe des cylindres, et les deux autres perpendiculairement à cet axe. Ces lames s'abaissent jusqu'à affleurement sur une plaque d'acier, de la même manière que dans les machines à rogner le papier en rame. Cette machine très-robuste peut couper de 5 à 6000 kilos de vieux cordages par 24 heures.

M. Martin pensa que si pour diviser de grosses matières telles que de vieilles cordes, de grosses toiles, etc., ce genre d'appareil peut être utilement employé, on ne pourrait en tirer le même parti pour le délissage des chiffons fins et demi-fins. Les coupeuses de chiffons ne dispensent pas en effet du triage, et leur action produit constamment au bluttage un déchet plus considérable que le délissage à la main.

Dans le second groupe (défilage du chiffon et raffinage des pâtes) M. Martin a rencontré quelques appareils nouveaux et intéressants.

Le défilage et le raffinage s'opèrent, comme on le sait, dans des piles munies d'un cylindre armé de lames métalliques, lequel est animé d'un mouvement de rotation rapide au-dessus d'une platine également munie de lames métalliques. Le nombre des lames, lours dispositions et la vitesse imprimée aux cylindres distinguent seuls les piles défileuses des piles raffineuses; il n'y avait à cet égard rien de nouveau à noter au Champ de Mars, si ce n'est peut-être la parfaite exécution des raffineuses exposées par MM. Warrall, Elwell et Poulot de Paris, et par MM. Verny et fils d'Aubenas. Néanmoins, il convient de citer deux modèles de platines, exposés l'un par M. Langhlin, de Boston, l'autre par MM. Meyer et Cie, de Kaysersberg (Haut-Rhin).

La platine américaine se compose de lames mobiles, ajustées dans un bloc de fonte et supportées par des boulons qui leur donnent la fixité désirable. Quand les lames sont usées, on desserre les boulons, on relève les lames avec une tige de fer et l'on resserre les boulons.

Dans la platine de MM. Meyer et Cie, les lames empâtées dans un alliage d'étain peuvent être dégagées à mesure qu'elles s'usent à l'aide d'une gouge et d'un marteau. Dans l'un et l'autre cas, les lames peuvent être utilisées jusqu'à complète usure. C'est un résultat certainement économique.

La platine de M. Langhlin présente en outre cette particularité, que les lames qui la composent ne sont pas placées parallèlement à l'axe du cylindre mais disposées en chevrons, de manière à ramener constamment la pâte au centre de l'appareil. L'expérience dira ce que valent ces dispositions nouvelles.

Ici se placent les deux appareils les plus intéressants de ce groupe. Ce sont les affleureuses continues, exposées l'une par M. Montgolfier et fils, de Fontenay-lez-Montbard (Côte-d'Or), l'autre par MM. Orioli et Henry, de Pontcharra.

La raffineuse centrifuge continue, dite pulp-engine, exposée par M. Montgolfier, est due à un Américain, M. Stuart. Elle se compose d'un disque vertical mobile armé sur ses deux faces de lames d'acier et juxtaposé entre deux autres disques à une seule

face également munis de lames, et qui jouent à l'égard du premier disque le rôle de platines.

La pâte à raffiner est introduite dans l'appareil par une ouverture centrale placée sur l'un de ses côtés; elle en parcourt toute la surface et va sortir du côté opposé par une seconde ouverture, également placée vers le centre. Une trémie qui domine l'appareil reçoit la pâte à raffiner, qui y est amenée à l'aide d'une pompe. La pression produite par cette colonne de liquide force la pâte à parcourir les deux côtés du disque mobile, pour s'écouler par le centre, malgré la force centrifuge déployée par le mouvement de rotation imprimé à ce disque.

L'affleureuse continue de MM. Orioli et Henry se compose de deux petites meules en bronze, dont l'une est mobile et l'autre dormante, et qui sont taillées de façon à reproduire les lames de l'appareil qui précède. Ces deux meules sont horizontales et placées dans une chambre en bronze que surmonte une trémie en bois, dans laquelle se place la pâte à affleurer. Cette pâte pénètre dans l'appareil par une ouverture centrale et s'échappe par la circonférence. Ces deux raffineuses sont donc basées sur le même principe, et doivent être employées dans les mêmes circonstances.

Le pulp-engine, très-répandu en Amérique et en Angleterre, consomme beaucoup de force; il paraît devoir être réservé à l'affleurement dernier des pâtes à papier, quand elles ont été séparément raffinées aux trois quarts, qu'elles ont été collées, azurées et mélangées. MM. Montgolfier assurent que ce dernier raffinage, rapidement opéré, donne de bons résultats et n'exige pas plus de 10 à 15 chevaux.

M. Orioli en a fait à Pontcharra une application avantageuse pour la trituration des pailles. Mais il ne paraît pas que, jusqu'à présent, on ait tiré un bon parti de ces nouveaux engins pour le raffinage de la pâte de chiffon, qui exige, pour rester nerveuse, l'action prudente et ménagée des lames métalliques employées à la trituration.

La fabrication proprement dite constitue le troisième groupe. Une seule machine, due à MM. Dautrebande et Thiry, de Huy (Belgique), le représentait.

M. Martin exprime le regret que cette belle machine n'ait pas été mise en mouvement sous les yeux du public. Ce n'eût pas été le spectacle le moins attrayant pour la masse entière des visiteurs; c'eût été en outre le moyen de résoudre une foule de questions restées insolubles, touchant les succédanés du chiffon, dont les échantillons abondaient au Champ de Mars.

La machine continue de MM. Dautrebande et Thiry brillait surtout par le luxe de son installation, par la perfection de son exécution et par le surcroît des moyens dont on l'avait douée.

Sans entrer dans le détail des organes qui la composaient, on peut citer :

Les épurateurs oscillants et à double effet, pour lesquels les constructeurs sont brevetés ;

Les deux chariots parallèles, à l'aide desquels la largeur de la feuille fabriquée est réglée. Ces chariots peuvent glisser sur deux guides cylindriques qui en assurent le parallélisme. Deux règles fixées sur les chariots, à l'aide de petites presses à vis, déterminent l'épaisseur de la feuille.

Un rouleau dit *guide-toile* maintient automatiquement la toile et les feutres dans la direction normale.

Après l'aspirateur (du système Kaufmann), une presse humide et deux presses sèches de grands diamètres donnent à la feuille la solidité suffisante pour passer facilement aux cylindres sécheurs.

Outre deux batteries de sécheurs de trois cylindres chacune, il y a trois cylindres plus petits, exclusivement destinés au séchage des feutres, et, pour obvier à l'inconvénient du rétrécissement de la feuille à mesure qu'elle se dessèche, des rouleaux à bascule lui conservent une tension toujours constante.

Enfin un rouleau humecteur, placé immédiatement avant la coupeuse, rend au papier trop sec, quand il quitte le dernier cylindre, la part d'humidité que sa propriété hygrométrique lui fait reprendre au bout de quelque temps de séjour en magasin.

La coupeuse est munie de deux rouleaux qui, au moment où l'action du couteau s'achève, empilent automatiquement les feuilles les unes au-dessus des autres.

Bien qu'il n'y ait que des éloges à faire de l'éxécution de cette belle machine, néanmoins M. Martin trouve son prix très-élevé (55,000 francs). Le prix moyen d'une continue pouvant remplir le même but est, dans la Charente, centre de la fabrication du papier, de 25,000 francs; il est vrai que les machines fabriquées dans ces conditions n'ont ni le luxe ni le fini de celle de MM. Dautrebande et Thiry; mais elles en possèdent tous les organes et donnent des produits que le commerce a l'habitude d'apprécier.

Avant de quitter la fabrication du papier continu, M. Martin demande à dire quelques mots des papiers anglais, dont il a remarqué les beaux échantillons.

Les nombreuses filatures de coton qui enrichissent l'Angleterre fournissent aux fabricants de papier de cet industrieux pays une matière première abondante, et qu'ils n'ont garde de perdre. L'utilisation de ces résidus fournit annuellement 12 à 15 millions de kilogrammes de papier; mais si le papier ainsi obtenu était simplement collé, comme en France, au moyen du savon résineux, il n'aurait aucune solidité. Dans ce cas, les Anglais ont recours au collagè à la gélatine, qui lui donne une fermeté remarquable. L'inconvénient du collage à la gélatine est d'exiger une série considérable de cylindres sécheurs, 60, 80 et même 100; d'où une dépense très-grande de premier établissement. Mais les Anglais trouvent dans l'excellence du résultat une rémunération suffisante de leurs premiers déboursés, et, sans aucun doute, les fabricants français, qui se trouvent à proximité de filatures de coton, obtiendraient, à l'aide de ce mode de collage, les mêmes résultats avantageux que nos concurrents d'outre-Manche. A l'appui de ce qui précède, M. Martin met sous les yeux de la Société des échantillons de papier de coton, collés à la gélatine, qui sont d'une consistance remarquable.

Pour ce qui regarde l'apprêtage qui représente le dernier groupe des opérations auxquelles le papier est soumis avant d'être livré au commerce, M. Martin n'a rien à signaler, si ce n'est l'emploi qu'on fait aujourd'hui des cylindres en papier pour le satinage et le glaçage des feuilles. Un cylindre en fer étant pris pour noyau, on recouvre sa surface par la compression d'une couche de 15 à 20 millimètres d'un papier gris spécial; quand la compression a été suffisante, on met le cylindre sur son axe, et, à l'aide d'un burin, on en dresse la surface comme s'il s'agissait d'un cylindre de laminoir en acier.

C'est à l'aide d'une forte presse hydraulique que s'opère la compression du papier autour de son axe; la surface ainsi obtenue est d'une dureté remarquable, mais elle conserve une élasticité qui la fait préférer aux feuilles métalliques employées jusqu'ici.

M. Kientzy et fils, de Paris, construisent ces cylindres avec toute la perfection

désirable. Le Champ de Mars a possédé quelques spécimens de ces nouveaux engins.

M. Martin termine sa communication par l'examen de la machine de M. Voelter, exposée par MM. Decker fils et Cie, de Canstatt, dans l'annexe du Wurtemberg.

Cette machine, qui a pour but la préparation de la pâte de bois, se compose d'une meule en grès de 1m,20 de diamètre et de 40 centimètres d'épaisseur. Cette meule, appelée *défibreur* est placée verticalement dans un bâti en fonte qui l'enveloppe entièrement. Sur le quart de la circonférence de ce bâti on a ménagé cinq petites chambres, dont la surface de la meule forme le fond. Deux quarts de cercle terminent le bâti et servent de point d'appui aux sabots qui compriment le bois à défibrer sur la surface de la meule.

Le bois divisé par tronçons de 28 centimètres de longueur, privé de son écorce et de toutes les parties colorées ou altérées, est placé dans les compartiments déjà décrits, au fond desquels on fait arriver une lame d'eau très-abondante, qui ne représente pas moins de 235 litres par minute pour les cinq compartiments; soit 47 litres pour chacun d'eux.

En même temps que cette eau empêche la surface de la meule de s'échauffer, elle entraîne les portions de bois défibrées et les transporte dans l'appareil qui porte le nom d'*épurateur*.

Les sabots en fonte doublée de bois sont fixés à l'extrémité de tiges filetées, qui reçoivent, au moyen d'un écrou mobile et articulé, engrené sur une vis sans fin, un mouvement de progression lent et régulier. La vis sans fin tient son mouvement de l'axe même de la meule. La vitesse du défibreur est de 150 tours par minute; la charge de 5 kilogr.; 15 à 20 minutes suffisent pour le défibrage de cette quantité. Le bois doit être placé dans les chambres, de façon à ce que la fibre soit parallèle à l'axe de la meule.

En sortant de l'enveloppe du défibreur, la fibre végétale passe dans la caisse des *épurateurs*, qui se composent de deux cylindres recouverts de toiles métalliques assez grosses. La fibre régulière pénètre dans l'intérieur de ces appareils, s'échappe par leurs axes et se rend aux *assortisseurs*. Les éclats de bois échappés à l'action de la meule et les fibres trop grosses sont livrés à un appareil intermédiaire appelé le *raffineur*.

Les assortisseurs sont des cylindres revêtus de toiles métalliques, qui tournent sur des tourillons creux, et sont plongés dans une eau contenant, à l'état de division, la fibre à tamiser. Ils ont pour objet de classer les pâtes suivant leur degré de finesse. Le premier bassin porte le n° 3; la toile qui recouvre son cylindre est la plus lâche; elle ne retient par conséquent que la fibre la plus grossière; cette dernière constitue une pâte n° 3 qu'on repasse au raffineur. Le second bassin porte le n° 2. La toile qui recouvre ce cylindre est plus serrée que celle du précédent; elle laisse donc pénétrer dans son intérieur la fibre la plus fine, et retient la pâte n° 2 qui peut entrer dans la préparation des papiers d'impression communs et dans celle des papiers de tenture. L'assortisseur du troisième bassin est recouvert d'une toile métallique très-fine, qui ne laisse échapper que de l'eau; il retient donc la pâte la plus fine, c'est celle qui porte le n° 1. On a compris que l'eau qui pénètre avec la fibre dans l'assortisseur n° 3 s'échappe par l'axe de cet appareil, d'où elle se rend dans le bassin n° 2; là elle pénètre dans l'intérieur de l'assortisseur n° 2, s'échappe par son axe et se rend dans le bassin n° 1. Enfin, elle suit dans ce dernier bassin la même voie que dans les autres, pénètre à travers la toile métallique dans l'intérieur du cylindre, abandonne la der-

nière portion de fibre végétale qu'elle contient et s'échappe par l'axe de l'assortisseur. C'est un tamisage méthodique ayant l'eau pour véhicule.

Pour terminer ce qui est relatif aux assortisseurs, il faut remarquer que chacun des bassins est accolé à une caisse destinée à recueillir la pâte produite par le cylindre tamiseur. A cet effet, deux rouleaux tangents à la toile métallique enlèvent la pâte à mesure qu'elle s'isole, et la déversent dans la caisse précitée.

La pâte nº 3 aussi bien que les débris rejetés par les épurateurs sont soumis à l'action du raffineur. Cet appareil se compose de deux meules de la Ferté-sous-Jouarre, exactement comme pour la mouture du blé; la meule inférieure est dormante et la supérieure animée d'une vitesse de 300 révolutions par minute. La pâte qui a subi la trituration se rend aux assortisseurs où elle rentre dans l'ensemble du travail.

Les bois employés pour cette fabrication sont le pin et le sapin, qui donnent les pâtes les plus fibreuses; le tremble et le tilleul, qui donnent les pâtes les plus blanches; enfin, le hêtre et le peuplier, qui fournissent les pâtes les plus courtes. Le bois doit être pris de préférence vert, et quand il a atteint de 10 à 28 centimètres de diamètre.

En Allemagne, on fait entrer la pâte de bois, dans la préparation du papier, dans les proportions suivantes : 15 à 50 pour cent pour les papiers fins à écrire et d'impression; 50 à 60 pour 100 pour les papiers ordinaires à écrire ou d'impression; 50 à 80 pour cent pour les papiers de tenture et les cartons; encore peut-on très-bien fabriquer ces derniers sans aucun mélange de chiffons.

En mettant sous les yeux de la Société plusieurs échantillons de papiers contenant de la pâte de bois en diverses proportions (de 23 à 70 pour 100), M. Martin fait remarquer que ces échantillons n'émanent pas du constructeur de la machine, mais de plusieurs fabricants qui l'ont depuis plusieurs années déjà en leur possession.

Quelques-uns de ces échantillons avaient été fabriqués en Saxe par MM. Kübler et Niethammer de Kriebstein; d'autres sortaient de la papeterie Worblaufen près Berne (Suisse); d'autres provenaient de la fabrique de Passau, en Bavière, etc.

La pâte de bois augmente l'opacité du papier, et accroît en même temps son affinité pour l'encre d'impression. Elle est donc d'un excellent emploi pour les papiers légers.

On lui a reproché de se mélanger difficilement à la pâte de chiffon; cette difficulté disparaît si l'on a soin de l'affleurer avant son mélange.

Une objection plus grave consiste dans la force énorme que la machine Woelter consomme : 50 chevaux ne produisent que 500 kilogr. de pâte supposée sèche par 24 heures; soit 10 kilogr. par cheval. L'emploi de cette machine n'est donc économiquement possible qu'en utilisant des forces hydrauliques sans application, dans les pays riches en bois propre à ce travail.

Pour être transportable, la pâte doit être privée de son eau. Une petite machine à rouleaux, ayant ce but, avait été exposée par MM. Decker frères et Cie. Après avoir subi l'action des rouleaux, la pâte ne renferme plus que 50 à 60 p. 100 d'eau; en cet état elle peut être mise en sacs et livrée au commerce.

M. le Président demande à M. Martin s'il a, sur cette fabrication, quelques données économiques à fournir à la Société.

M. Martin répond que, d'après les renseignements qui lui ont été fournis à l'Exposition même, 100 kilog. de pâte de bois, supposée sèche, valent en Allemagne 34 à 48 fr., suivant la blancheur. Si cette pâte a été fabriquée dans de bonnes conditions, le prix de revient des 100 kilog. ne s'élève pas au delà de 15 à 22 francs. Or, cette

quantité peut être employée en mélange avec la pâte de chiffons, sans en diminuer les qualités, remplaçant dans la masse une proportion de pâte de chiffon qui coûterait 60 à 75 francs.

M. Rouyer rappelle que M. Fredet avait étudié un procédé de désagrégation fondé à la fois sur les principes mécaniques et chimiques.

M. Schaech décrit un procédé nouveau de désagrégation, qui consiste à couper le bois en rondelles en les soumettant à l'action de vapeur à 5 atmosphères, puis en les écrasant sous une meule.

Répondant à une demande de M. le président, M. Schaech ajoute que ce procédé a l'avantage de maintenir une plus grande longueur aux fibres.

Au point de vue du prix de revient :

M. Schaech fait remarquer que la machine exposée par MM. Dautrebande et Thiry pèse 10,000 kilog. et que le prix du kilog. ne s'élève qu'à 1 fr. 35. Il ne croit pas que l'on puisse construire en France des machines aussi soignées à un prix aussi faible.

M. Martin répond qu'il n'a pas dit que la machine continue de MM. Dautrebande et Thiry ne valût pas le prix que les constructeurs en demandent; mais seulement que, pour une somme de beaucoup inférieure, on pouvait construire une continue ayant tous les organes qui constituent la machine belge et donnant des résultats identiques; que l'on en construisait couramment à Angoulême pour le prix de 25,000 fr. Comme argument, M. Martin, par exemple, cite la presse humide qui se compose, dans la machine de MM. Dautrebande et Thiry, de deux cylindres en bronze, d'un centimètre d'épaisseur et d'un diamètre de 20 à 25 centimètres; tandis que, dans les machines courantes, les cylindres sont en cuivre plein et de 7 à 8 centimètres de diamètre seulement. Il n'y a pas une seule raison pour que ces derniers cylindres ne rendent pas les mêmes services que les premiers, quoiqu'ils doivent coûter beaucoup moins encore.

M. le président demande à M. Schaech s'il croit que l'industrie belge fournit un certain nombre de ces machines en France.

M. Schaech répond que, sans vouloir insister sur ce qu'il a dit déjà, il croit que malheureusement la Belgique fournit en France une partie des appareils qui y sont employés.

M. le président remercie M. Martin de sa communication, et donne ensuite la parole à M. Coignet.

M. Coignet fait remarquer que la question de la conservation du blé en silos a été étudiée à diverses reprises au point de vue économique, que l'on a pensé que les frais résultant de cet emmagasinage et des préparations à faire subir au blé devaient au moins être égaux, sinon supérieurs à l'économie qui en résulterait.

Il pense qu'en employant les procédés connus maintenant et qu'il se propose de décrire, cette question doit être reprise, et il croit que l'on obvierait aux effets de ce qui se passe, dans la succession des années de bonnes récoltes et des années de disette.

M. Coignet passe en revue les différents procédés dont on a exposé l'application.

Le pelletage dans le grenier.

L'installation d'énormes machines servant à maintenir le blé en mouvement, en le montant successivement jusqu'aux greniers pour le laisser retomber ensuite.

Il cite une installation de ce genre dont les dessins figuraient à l'exposition de 1862, et qui devait être appliquée aux magasins de Trieste?

Enfin la conservation du blé en vase clos.

Depuis de longues années on conserve le blé en silos.

Les Romains en faisaient usage, et dans les pays chauds, en Algérie, par exemple, on conserve le blé dans des silos de construction grossière.

En France, bien qu'on ait apporté plus de soin dans leur construction, les différentes tentatives ont échoué successivement.

M. Doyère a employé des silos rendus étanches par des feuilles de métal; mais il s'est aperçu que la conservation du blé n'y était pas toujours parfaite, et il a alors reconnu que la difficulté consistait bien plus dans l'état hygrométrique variable du blé que dans l'étanchéité plus ou moins parfaite des enveloppes.

M. Doyère a reconnu que toutes les fois que le blé contenait plus de 14 p. 100 d'eau, il ne se conservait pas. Qu'au contraire, du blé ne contenant que 10 à 12 p. 100 d'eau se conservait très-bien; mais qu'au-dessous de 9 p. 100 la température employée pour dessécher le grain le désorganisait et le rendait impropre à la germination.

Ces observations concordaient d'ailleurs avec les faits observés en Algérie.

La récolte s'y faisait toujours par de fortes chaleurs et le blé ne conservant jamais au moment de l'ensilage que 10 p. 100 d'eau environ; dans ces conditions la conservation du blé était toujours parfaite?

M. Coignet, profitant des observations précédemment faites par M. Doyère et des différents essais tentés pour opérer la dessiccation du blé, a imaginé l'appareil suivant dont il donne la description.

Cet appareil se compose d'une cuve dans laquelle on place horizontalement un double fonds en bois garni d'une toile métallique.

Le blé est étendu sur ce double fond qu'il recouvre complétement sur une épaisseur d'un mètre environ.

La partie supérieure de la cuve est en communication avec le conduit d'air chaud d'un calorifère, la partie inférieure avec un aspirateur ou simplement avec une forte cheminée.

Le vide ainsi obtenu force l'air chauffé de 40 à 60 degrés à traverser lentement et par couches horizontales toute la masse de blé qui se trouve ainsi desséchée parfaitement en toutes ces parties.

A l'aide de ce procédé, M. Coignet a desséché facilement du blé qu'il avait trempé préalablement dans l'eau au point d'en retenir environ 25 p. 100; ce blé a pu être ramené à n'en contenir que 9 à 10 p. 100 après l'expérience.

M. Coignet décrit ensuite la construction des silos en béton.

La forme hexagonale a été choisie par M. Coignet comme déterminant la plus grande économie possible de maçonnerie, la paroi d'un silo servant, en même temps, de paroi à un autre silo. L'imperméabilité complète de ces réservoirs peut être obtenue en enduisant les surfaces extérieures d'une couche infiniment mince de ciment de Portland lissé à la truelle sous pression.

Dans un essai que M. Coignet a fait de ce procédé à son usine de Saint-Denis, il a obtenu une imperméabilité complète.

M. Coignet ajoute qu'il propose de construire ces silos sur les points culminants et non pas enfouis sous terre.

Il commence par établir un dallage rendu imperméable en béton sur lequel il bâtit ces silos, il entoure ensuite toute la construction d'un mur en pisé ou en béton, puis

il recouvre tout l'ensemble de plusieurs mètres de terre; il termine en recouvrant le régime tout entier de silos d'un dallage général rendu imperméable; de cette façon les blés renfermés dans ces silos sont à l'abri de la chaleur et de l'humidité.

M. Coignet indique que ces silos ne reviennent qu'à 3 francs par hectolitre de blé, et que les silos métalliques proposés par M. Doyère revenaient de 6 à 7 francs: ce prix s'élevait jusqu'à 12 et 15 francs pour des silos d'après le procédé de M. Louvet dans lesquels on fait le vide.

M. Coignet en terminant invite les membres de la Société qui s'intéressent à cette question à venir visiter l'usine de Saint-Denis dans laquelle ils trouveront réunis, indépendamment du spécimen de silos, différentes constructions entièrement en béton, parmi lesquelles il cite un grand arc de 60 mètres avec 1/10 de flèches.

M. Tardieu demande à M. Coignet si le prix de revient de 6 à 7 francs cité par lui est le prix ancien, ou si l'on a tenu compte de la réduction de 50 p. 100 qu'ont subie les constructions en tôle dans ces dernières années.

M. Desgrange fait remarquer que dans les magasins de Trieste le blé n'est pas mis en mouvement comme l'a indiqué M. Coignet : ce sont des greniers système Devaux pouvant contenir 500,000 hectolitres de blé, et ayant coûté 1,500,000 fr. Le prix de revient est donc de 3 fr. par hectolitre.

M. Rouyer demande si M. Coignet est en mesure de fournir les prix de revient de la dessiccation et de l'ensilage; il désirerait connaître ces chiffres, afin d'en fournir l'appréciation dans une prochaine séance où il se propose de revenir sur cette question qu'il a été appelé à étudier d'une manière particulière.

M. Coignet ajoute que le prix de revient de 6 à 7 francs est celui qui lui a été indiqué tout récemment par l'administration de la guerre, il croit savoir que les divers essais tentés par M. Doyère sont revenus à des prix plus élevés.

En ce qui concerne l'exemple cité de Trieste, M. Desgrange fait remarquer qu'il ne s'agit pas dans l'espèce de silos de conservation mais de simples magasins, et qu'en employant le béton dans ces sortes de construction on pouvait arriver à réduire ce prix au-dessous de 3 francs par hectolitre.

M. Coignet est tout disposé à donner les chiffres que demande M. Rouyer et même à donner toutes les explications qui seraient nécessaires, si M. le président veut maintenir cette question importante à l'ordre du jour de la prochaine séance.

M. le Président lève la séance en remerciant M. Coignet de sa communication, et en annonçant le maintien à l'ordre du jour de cette question.

Séance du 6 Mars 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 21 février est adopté.

M. Richard regrette que les procès-verbaux soient distribués aussi tard dans la journée du vendredi.

M. le Président fait observer que ces retards tiennent presque toujours à ce que

les membres qui ont fait les communications ne renvoient pas en temps convenable les épreuves qui leur sont communiquées. Ils sont invités à y mettre plus d'empressement.

Il ajoute qu'il a reçu une lettre de M. d'Hamelincourt, qui se plaint aussi du retard signalé par M. Richard, et qui l'empêche de communiquer à la Société, dans cette séance, des renseignements sur un appareil servant à la conservation des blés. La discussion restera ouverte sur ce sujet, pour fournir à M. d'Hamelincourt l'occasion de faire sa communication.

M. le Président donne communication d'une lettre envoyée par M. Nordling relative à un accident occasionné par le vent. Cet accident, qui est le quatrième du même genre arrivé sur le réseau du Midi, a eu lieu le jeudi 5 décembre, à 6 heures 20 minutes du matin, entre les stations de Leucate et de Fitou.

Le train allait de Perpignan à Narbonne; il était composé de 7 wagons et marchait à une vitesse de 30 à 35 kilomètres sur palier et en ligne droite. Le vent soufflait du nord-ouest dans une direction sensiblement perpendiculaire à la voie.

Les diverses indications fournies par la Compagnie, ainsi que les résultats statiques que l'on peut en déduire, ont été résumés dans le tableau suivant :

Numéros d'ordre des wagons.	Désignation des wagons.	Poids des wagons.	Bras de levier.	Moment de résistance.	Surface exposée au vent.	Bras de levier du vent.	Pression par mètre carré correspondant à l'équilibre.
		kil.			m. q.	m.	k. g.
1	AB mixte voyageurs.	6280	0.75	4710	17.50	2.05	131
2	D fourgon.	5874	Id.	4406	14.40	2.05	149
3	AB mixte voyageurs.	6767	Id.	5075	17.50	2.05	141
4	Id.	6767	Id.	5075	17.50	2.05	141
5	C 3me classe voyageurs.	6770	Id.	5078	16.50	2.00	154
6	C 3me classe voyageurs.	6770	Id.	5078	16.50	2.00	154
7	DT fourgon de queue déraillé, non renversé.	6954	Id.	5216	12.20	1.68	254

M. Nordling fait remarquer dans sa note que l'intensité du vent a dépassé 154 kilogrammes par mètre carré, puisque les wagons 5 et 6 ont été renversés; mais qu'elle n'a pas atteint 254 kil., puisque le fourgon n° 7 a simplement déraillé, probablement par suite de l'attelage.

Il ajoute que ces chiffres semblent indiquer que le coefficient de 170 kilogrammes qu'il a adopté dans les calculs de stabilité des viaducs n'a rien d'excessif, mais qu'il est suffisant, puisque le calcul entrepris sur des wagons vides de différentes compagnies, montre qu'ils devraient se renverser sous une pression de 170 kilogrammes et que ce phénomène ne s'est encore produit qu'à Narbonne et à Trieste.

M. le Président donne la parole à M. Rouyer pour communiquer à la Société les renseignements qu'il a pu recueillir sur la question de la conservation des blés.

M. Rouyer, bien qu'il ait l'intention de borner sa communication à l'étude des appareils qui figuraient à l'Exposition, ne croit pourtant pas pouvoir passer sous

silence les travaux de Doyère, travaux si importants que, sans la mort prématurée de cet inventeur, son procédé occuperait probablement à l'heure qu'il est le premier rang par l'importance de son développement.

Doyère, suivant en cela la marche la plus rationnelle, a commencé par étudier, dans les contrées où il est pratiqué avec succès, le procédé, si peu connu avant lui, de l'ensilage.

Dans l'Estramadure, en Espagne, où l'on emploie encore l'ensilage le plus élémentaire, les localités où on peut le pratiquer sont pourtant assez rares et sont nettement circonscrites dans un rapport intime avec la constitution géologique du sol.

Le procédé employé consiste à creuser un trou de capacité très-variable et ayant la forme d'une carafe ; ce trou ne communique avec l'air que par un orifice juste assez grand pour qu'un homme puisse y passer.

Ce mode assez barbare ne réussit que là où *le terrain est assez imperméable pour ne pas permettre les infiltrations*. Une condition qui favorise son succès, *c'est la grande sécheresse des blés ensilés qui ne contiennent que 7 à 10 p. 0/0 d'eau.*

Malgré la réunion de ces deux conditions très-favorables au succès de l'ensilage, on est obligé de mettre avec beaucoup de soin entre le blé et la terre un matelas de $0^m,10$ d'épaisseur, formé des débris très-menus que fournit la paille pendant le dépiquage. Et, chaque année, on sort le blé du silo pour l'aérer et renouveler cette paille.

En Afrique, les silos sont faits généralement avec plus de soin ; on les revêt intérieurement de maçonnerie.

Malgré ces précautions, une partie du blé, celle qui est à la périphérie de la masse, s'altère et communique à tout le blé conservé une odeur spéciale qui le déprécie pour peu que le sol contienne un peu d'humidité propre, parce que le blé est extrêmement hygrométrique.

Les restes de silos romains montrent que leurs constructeurs ne négligeaient aucuns frais pour mettre le silo à l'abri de toute humidité provenant soit de l'atmosphère, soit du sol.

A ces conditions de sécheresse du blé et d'imperméabilité du sol, il est bon d'en ajouter une troisième qui résulte du mode de construction du silo, c'est l'*invariabilité à peu près absolue de la température*.

Pénétré de ces conditions, Doyère imagina de faire, pour notre pays où le sol se prête si peu au mode d'ensilage dont il vient d'être question, des silos en maçonnerie, revêtus intérieurement d'une chemise en tôle pour assurer l'imperméabilité absolue.

Il imagina aussi divers appareils pour sécher les blés, mais il reconnut bientôt que, en l'absence de toute trace d'humidité et de toute variation de température, des blés contenant jusqu'à 16 p. 0/0 d'eau pouvaient se conserver.

Des cylindres de ce genre ont été établis à la colonie de Mettray et chez M. le comte de Pourtalès.

Dans la première application, le prix de revient a été de 5 francs par hectolitre, et dans la seconde, il s'est élevé à 5 fr. 75 et même 6 francs.

Des expériences sérieuses ont été faites en 1853 et en 1854, et M. Rouyer montre un échantillon de blé conservé depuis cette époque.

Ces expériences ont porté sur du blé contenant 13, 14 et même 17 p. 100 d'eau.

L'échantillon contenant 17 p. 100 a été trouvé seul un peu altéré à la surface.

MM. Desmet et le comte de Pourtalès considèrent le procédé Doyère comme le meilleur. Ils ne voient même pas d'utilité à sécher préalablement le blé.

M. Doyère avait proposé un moyen de séchage du blé dans le silo même.

Ce procédé a été appliqué à la colonie agricole de Mettray, sur une masse de 500 hectolitres.

Il consiste dans le refoulement, à l'aide d'un ventilateur de l'air chassé dans le silo. Cet air traverse lentement la couche de blé, et sort à la partie inférieure.

Ces procédés d'ensilage ne détruisent pas les insectes, à moins que l'on n'ait chauffé préalablement le blé au-dessus de 50°; mais comme à 65° il commence à s'altérer, ce n'est pas un moyen pratique pour les gens de la campagne. M. Rouyer ne connaît qu'un appareil propre à assurer une torréfaction à température constante : c'est celui employé par M. Rolland à la manufacture de tabac; mais il n'a pas encore été appliqué au blé. Doyère a préféré recourir au sulfure de carbone, employé en petite quantité. M. le comte de Pourtalès, après avoir expérimenté ce procédé, affirme que l'emploi de cet agent, tout en détruisant les insectes, n'agit pas d'une manière nuisible sur le blé.

Après avoir rappelé les travaux de Doyère, M. Rouyer décrit les appareils qui se trouvent réunis à l'Exposition.

Dans la classe 50, on remarquait l'appareil de M. Coignet, qui a été décrit dans la dernière séance, l'appareil de M. Louvel et celui du docteur Vergier.

Ce dernier n'est qu'un dessécheur de blé, composé d'une chaudière verticale tubulaire.

La vapeur circule autour des tubes, tandis que le blé passe à l'intérieur. Cet appareil est d'un maniement trop délicat pour les cultivateurs, à cause du faible écart qui existe entre le point où les insectes sont détruits et celui où le gluten commence à se désorganiser.

L'appareil Louvel consiste en un grand réservoir de tôle dans lequel on fait le vide.

Par suite de ce vide, l'eau contenue dans le blé s'évapore en partie, l'absence d'air empêche toute fermentation et entraîne la mort des insectes. C'est donc là un excellent procédé de conservation.

Des expériences ont été entreprises pendant la durée de l'Exposition sur des lentilles et des farines.

M. Rouyer donne communication d'une lettre de M. Lapostolet résumant les résultats de ces expériences ; des lentilles déjà altérées en partie ont été placées dans ces appareils, les principes de moisissures se sont arrêtés et les lentilles se sont bien conservées.

Les expériences sur la farine ont aussi donné de bons résultats malgré l'élévation de la température du hangar sous lequel ces appareils étaient installés.

M. Lapostolet ajoute que ces résultats sont très-intéressants, mais que la durée de trois mois pendant lesquels ont eu lieu ces expériences n'est peut-être pas suffisante pour que l'on puisse déduire de ces essais l'efficacité complète du procédé.

M. Rouyer ajoute que les appareils exposés par M. Louvel revenaient à un prix élevé par suite d'un excès d'épaisseur dans la tôle employée par le constructeur. Mais il y a lieu d'espérer que l'on pourra livrer des appareils dont le prix, pompe comprise, ne dépassera pas 8 francs par hectolitre.

M. Rouyer décrit ensuite deux autres procédés exposés dans la classe 48.

Un appareil exposé en Belgique, et qui se compose d'un grand prisme polygonal contenant 60 à 80 hectolitres de blé, formé de tôles piquées consolidées par des arma-

tures. Un arbre est fixé dans l'axe de ce prisme et permet de donner un mouvement lent de rotation à tout l'appareil.

On remplit de blé l'appareil que l'on tourne de temps à autre d'une certaine quantité.

M. Rouyer ajoute que dans cet appareil le blé ne se déplace qu'à la surface et que le reste demeure en repos.

L'appareil de M. Devaux est fondé sur un principe analogue à celui d'un appareil exposé par M. Jalaville en 1862. Il consiste en une grande caisse en tôle piquée au milieu de laquelle on fixe un tube vertical de 0m,60 de diamètre, également en tôle piquée.

De l'air envoyé par un ventilateur passe dans ce tube et traverse la masse de blé.

Ces appareils ont été établis à Trieste et à Londres dans de grandes dimensions.

Le blé s'y conserve très-bien, et même du blé déjà avarié par un commencement de fermentation a pu reprendre dans ces appareils son aspect marchand primitif.

M. Rouyer ajoute que l'emploi de cet appareil peut être avantageux lorsque l'on veut emmagasiner de grandes masses de blé pendant peu de temps, mais qu'il ne convient pas pour la conservation du blé pendant plusieurs années; car, par suite de la dessiccation énergique qu'il produit, il en résulte une perte pour le commerçant à qui l'acheteur ne tient pas compte de la perte de l'humidité, qui n'est pourtant pas une perte réelle puisque cette humidité est restituée au blé à la mouture et dans la panification. Il est à craindre que cet inconvénient n'empêche les agriculteurs d'employer cet appareil du reste assez économique.

M. Rouyer compare ensuite les différents appareils qu'il vient de décrire au point de vue du prix de revient par quintal métrique des différentes opérations que l'on est obligé de faire subir au blé, y compris l'entrée en magasin et l'expédition.

Magasins ordinaires.	3f.16	dont 0,73	de frais d'entrée et de sortie et	2.43	de frais proportionnels à la durée du magasinage.
Procédé Louvel. . .	1.43	— 0,64	—	0.79	—
Procédé Doyère. . .	1.46	— 0,86	—	0.60	—
Procédé Devaux. . .	1.46	— 0,53	—	0.93	—

La conservation du blé par le procédé Devaux revient au même prix qu'en employant le procédé Louvel.

Le procédé Doyère serait le plus avantageux, la dépense qu'il occasionne pouvant être réduite à 1f,19, si, comme l'indiquent MM. le comte de Pourtalès et Desmet, la dessiccation préalable est inutile.

M. Coignet désire que la Société soit bien persuadée qu'il n'avait trouvé dans les travaux de M. Doyère aucun procédé de dessiccation analogue à celui qu'il a employé. Il a trop de respect pour ses travaux pour ne pas avoir cité ce procédé s'il en avait trouvé la trace. Il ajoute d'ailleurs que l'objet principal de sa communication était la question des silos en béton. Il désirait présenter quelques observations complémentaires sur cette question.

M. le Président fait observer qu'il maintiendra la question de l'ensilage des blés à l'ordre du jour de la prochaine séance où M. Coignet pourra être entendu de nouveau s'il le désire. Le moment est venu de donner place à une communication attendue par un grand nombre de membres présents : celle de M. Simonin sur son exploration aux montagnes Rocheuses.

M. Simonin rappelle à la Société que l'année dernière il a donné, avec M. le colonel

Buel, des explications sur les nouvelles mines d'or et d'argent de la Nevada et subsidiairement du Colorado. Ce sont ces derniers gisements que M. Simonin est allé visiter récemment.

Après neuf jours de traversée, il est arrivé à New-York. Là, il a rejoint le chemin de fer du Pacifique, qui l'a conduit à 190 milles des mines. Ce dernier trajet s'est effectué sans encombre à travers des tribus sauvages et hostiles.

A diverses reprises, des savants avaient parcouru la chaîne des montagnes Rocheuses sans faire la découverte d'aucun filon, lorsqu'en 1859 des pionniers découvrirent l'or vers les sources de l'Arkansas. La nouvelle de cette découverte se répandit rapidement, et les mineurs arrivèrent en foule. Un de ces mineurs, entrant dans les défilés des montagnes, y découvrit le fameux filon qui porte son nom, Gregory.

Les pionniers vinrent bientôt s'installer dans ces gorges sauvages et y trouvèrent un grand nombre de gisements importants.

M. Simonin donne quelques détails sur la loi américaine concernant l'exploitation des mines, et qui accorde au mineur qui a découvert un filon la propriété souterraine sur 3000 pieds de longueur, et seulement 1500 pieds si l'exploitant n'a pas découvert la veine métallifère.

M. Simonin fait remarquer les différences qui existent sous ce rapport entre les lois américaine et française, cette dernière ne permettant d'exploitation que souvent très-longtemps après la demande en concession ; l'instruction de cette demande donne lieu à des enquêtes très-longues, très-minutieuses et qui souvent durent plusieurs années.

M. Simonin attribue aux lois libérales américaines le développement considérable de l'industrie minière, qui progresse tous les jours davantage dans le *Far-West*, les chercheurs y étant de plus en plus nombreux.

M. Simonin a recueilli partout dans les mines du Colorado des échantillons des terrains qu'il a visités, et les essais par voie sèche lui ont toujours dévoilé la présence de l'or.

M. Simonin ajoute que tout le versant oriental des montagnes Rocheuses est aurifère et qu'à Gregory par exemple on a pu recueillir jusqu'à 20 et 30000 francs d'or par tonne de minerai traité. Ces rendements, il est vrai, sont tout à fait exceptionnels.

M. Simonin fait remarquer que dans le Colorado les difficultés de traitement métallurgique sont quelquefois telles qu'on ne retire souvent que le tiers ou le quart de l'or contenu dans le minerai.

On n'arrive dans aucun cas à en retirer la totalité. Dans ces minerais l'or est toujours combiné avec des sulfures métalliques tandis qu'en Californie il se trouve généralement à l'état natif disséminé dans une gangue quartzeuse.

M. Simonin ajoute que tous les procédés essayés n'ont donné jusqu'ici aucun bon résultat. Il reste donc une découverte importante à faire, permettant de retirer la totalité de l'or contenu dans les minerais.

M. Rivot, professeur de métallurgie à l'École des mines de Paris, qui a particulièrement étudié cette question, a délégué une personne en Californie pour essayer d'un procédé qui consiste, paraît-il, dans l'emploi de la vapeur surchauffée pour le grillage à *mort* des sulfures aurifères.

M. Simonin indique les différents procédés dont on fait usage actuellement dans le Colorado :

1° On broie le minerai en poudre impalpable, puis on traite par le mercure, qui dissout tout l'or libre qu'on extrait ensuite par la distillation.

Ce procédé ne permet d'extraire que le quart de l'or contenu dans le minerai, quand le minerai n'est composé que de sulfures.

2° On soumet le minerai à un grillage à mort, soit dans des fours à réverbère, soit dans des fours tournants.

La matière grillée est traitée par le mercure ou est fondue. Dans ce dernier cas, on obtient des mattes qui sont envoyées à Swansea (pays de Galles) pour être travaillées par des procédés tenus secrets.

Le transport de ces mattes revient à un prix très-élevé (1 franc par kilogramme). Il faut donc qu'elles soient très-riches.

Le Colorado possède aussi des mines d'argent importantes. Tout le versant occidental des montagnes Rocheuses contient des filons argentifères, qui sont la continuation de ceux que l'on rencontre au Mexique. En quittant ce dernier pays, la ligne métallifère se bifurque en deux, l'une se dirigeant vers la Sierra-Nevada, l'autre vers les montagnes Rocheuses. Au Colorado l'on rencontrera probablement le parallèle du célèbre filon de Comstock fouillé à Nevada.

M. Simonin fait remarquer que l'exploitation de ces filons est conduite comme celle des mines anglaises. Les procédés employés n'offrent rien de particulier. Pour se débarrasser des eaux, on emploie des galeries d'écoulement ou des pompes.

La plus grande difficulté que l'on rencontre dans le travail souterrain tient à la grande élévation des affleurements.

Les mines d'or se trouvent généralement situées à 2000 à 3200 mètres d'altitude, et les mines d'argent à des altitudes encore plus considérables : 3000 à 3500 mètres. Les neiges, à ces hauteurs, coupent pendant plusieurs mois toute communication avec les vallées, et les mineurs passent généralement l'hiver dans les montagnes.

L'exploitation des mines d'or et d'argent de ces contrées est appelée à coloniser un pays immense. Les Peaux-Rouges sont refoulés peu à peu vers des cantonnements ou lieux de *réserves* que le gouvernement leur assigne. Cependant plusieurs tribus résistent et refusent de signer aucun traité avec les blancs.

M. Simonin entre ensuite dans quelques détails sur la production de l'or et de l'argent en Amérique.

Les États-Unis produisent maintenant autant d'or que toutes les autres contrées du globe.

La production en argent des mines de Nevada est aussi grande que celle de toute l'Amérique espagnole.

Pendant la guerre de sécession, la production totale a été de 5 à 600 millions d'or et d'argent; en 1867, de 400 millions seulement. Ce ralentissement dans la production tient aux luttes continuelles que les colons ont eues à soutenir contre les tribus sauvages, et aux difficultés des traitements métallurgiques qui ont arrêté l'essor de beaucoup d'exploitations.

M. Simonin ajoute que la production d'or de la Californie va constamment en diminuant depuis quelques années, et que la production du Colorado et d'autres territoires (l'Idalo, le Montana, etc.) vient rétablir l'équilibre.

M. Simonin rappelle en terminant les dernières paroles prononcées par le président Lincoln au sujet des mines de métaux précieux du Grand-Ouest américain : « Les États-Unis sont le trésor du globe. »

M. Simonin fait encore observer que c'est le Colorado qui, à l'Exposition interna-

tionale de 1867, à Paris, a remporté la grande médaille d'or donnée aux produits minéraux. Il offre à la Société et à ceux des membres présents qui lui en font demande, divers échantillons provenant des mines du Colorado. Cette offre est faite de la part de M. J.-P. Whitney, commissaire du Colorado à l'Exposition de 1867.

M. le Président remercie M. Simonin de son intéressante communication, en exprimant l'espoir qu'elle aura fait naître dans l'esprit de quelques-uns des habiles métallurgistes qui font partie de la Société l'idée de rechercher une nouvelle méthode de traitement des riches minerais de la Nevada et du Colorado.

MM. Bataille-Straatman, Dumont, Quesnot et Schmoll ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 20 Mars 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 6 mars est adopté.

M. le Président annonce que M. Bevan de Massi, membre de la Société, vient d'être nommé commandeur de l'Ordre du Christ de Portugal, et chevalier de l'Ordre d'Isabelle la Catholique.

M. Fouju, membre de la Société, adresse un échantillon de soie de nacre et demande qu'il soit soumis à l'examen des membres s'occupant de filature. Cet échantillon est renvoyé à M. Alcan.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante que M. Renaudot, ingénieur des ponts et chaussées, a adressée à M. E. Flachat, président honoraire.

« Ce n'est que le 3 février courant, par l'intermédiaire de M. l'ingénieur en chef Hervé Mangon, secrétaire de la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées*, que j'ai reçu communication du compte rendu de la séance du 22 novembre dernier de la Société des Ingénieurs civils, et que j'y ai pris connaissance des accusations et critiques dont un mémoire de moi, inséré aux *Annales de* 1866, a été l'objet dans ladite séance. Accusations et critiques partent de trop haut, monsieur, pour que je puisse les laisser sans réponse.

« Permettez-moi, tout d'abord, de protester de la façon la plus énergique contre l'interprétation manifestement erronée qu'ont reçue, dans ce compte rendu, deux passages, ou plutôt deux expressions du travail précité, interprétation d'après laquelle j'aurais manqué de respect aux travaux, voire même porté atteinte à la mémoire de feu M. l'Ingénieur en chef des mines Clapeyron.

« Vous avez été, monsieur, l'ami et le collaborateur de M. Clapeyron. J'ai eu seulement l'honneur d'écouter ses leçons, mais, comme vous, j'ai pour la mémoire et les travaux de l'éminent géomètre et de l'habile ingénieur que la science regrette tout le respect qu'on doit à un aussi illustre maître.

« C'est donc avec regret, je l'avoue, que je suis obligé d'adresser à une Société de gens distingués comme la vôtre une protestation de la nature de celle dont il s'agit.

« Une considération, d'ailleurs, ne devait-elle pas éloigner bien vite, en admettant même que les expressions critiquées aient pu y donner naissance, la supposition que j'avais pu être irrespectueux pour les travaux du maître ?

« L'insertion d'un mémoire aux *Annales des Ponts et Chaussées* n'est-elle pas subordonnée à son examen par une commission spéciale ? Cette commission n'est-elle pas composée d'inspecteurs généraux et d'ingénieurs en chef, membres éminents du Conseil général des Ponts et Chaussées ou professeurs distingués à l'École, tous aussi jaloux que qui que ce soit du respect dû à une mémoire respectable ? Comment, dès lors, a-t-il pu être admis que s'ils contenaient quelque chose, je ne dirai même pas d'irrespectueux, mais seulement d'injuste pour les travaux de feu M. Clapeyron, les passages incriminés par le compte rendu eussent échappé à la scrupuleuse vigilance de la Commission ?

« J'en ai dit assez, monsieur, pour me justifier sur ce point.

« Quant aux critiques dont mon mémoire a été au fond l'objet, dans cette même séance du 22 novembre dernier, elles sont de droit commun et n'expriment qu'une divergence d'opinions que je regrette, mais qui n'appellerait point nécessairement une réponse.

« Toutefois comme, d'une part, encore bien que mes opinions et mon nom aient fait à eux seuls tous les frais de l'incident, les mêmes critiques ont voulu s'adresser aussi aux travaux analogues de plusieurs ingénieurs ; comme, d'autre part, monsieur, en leur prêtant appui, vous leur avez donné auprès des constructeurs l'autorité de votre haute expérience, je ne crois pas inutile ni sans intérêt pour l'art des constructions d'en apprécier, à mon point de vue et aussi rapidement que possible, la valeur.

« Certes je suis avec vous contre une réglementation excessive, qui, imposant aux constructeurs des règles de stabilité irrationnelles, exercerait sur l'industrie une gêne fâcheuse, et grèverait finalement le budget public d'inutiles dépenses.

« J'admets donc avec vous, monsieur, que les hypothèses de surcharge à appliquer à la recherche ou à la vérification de la stabilité d'un ouvrage doivent se rapprocher, autant que possible, des conditions de fatigue exceptionnelle que sa destination spéciale permet rationnellement de prévoir.

« Mais le mode fictif d'épreuves qui sert de base à l'établissement de mon mémoire heurte-t-il donc davantage ces principes élémentaires d'une saine pratique, que les modes restreints de surcharge auxquels votre assentiment est acquis ?

« En quoi, s'il vous plaît, monsieur, est-il plus rationnel, plus pratique d'admettre qu'en service d'exploitation un pont de chemin de fer, celui de Langon, par exemple, aura jamais à supporter, sur deux travées consécutives, un train unique ou deux trains contigus, uniquement composés de locomotives et d'une longueur totale à celle des deux travées, que de supposer d'une façon générale, pour un pont d'un plus grand nombre de travées, qu'une série de trains de la même composition et de la même longueur pourront, dans un ordre de succession quelconque, surcharger l'ouvrage ?

« Est-ce donc entrer en pleines voiles dans le domaine de l'imagination, suivant votre image, que d'admettre une fiction qui ne trompe personne, si cette fiction permet de traiter plus sûrement et plus exactement la question d'une façon générale ; et, finalement, de fournir à la pratique des formules toutes calculées et des tables qui épargnent au constructeur tout un échafaudage de pénibles recherches et de laborieux calculs ?

« Cette fiction, au surplus, a-t-elle, dans la pratique, au point de vue essentiel de la dépense, des conséquences si dommageables qu'elle puisse, par cette considération que je reconnais majeure, être l'objet de légitimes critiques?

« Je prends le pont d'Asnières.

« J'ai fait ressortir pour le moment maximum de la deuxième pile, une différence de 1/4 entre la valeur de ce moment, déduite de mes tables, et celle donnée par les hypothèses restreintes de surcharge rapportées par MM. Molinos et Pronnier.

« Mais c'est là la différence relative la plus grande; les autres, ainsi que cela résulte du tableau de la page 377 de mon mémoire, sont notablement moindres. J'ajoute qu'elles n'influent que sur des éléments de la construction qui n'entre que pour $\frac{48}{100}$ environ de son poids total. Bref donc, sans se livrer à aucun calcul, vous admettrez avec moi, monsieur, qu'eût-on appliqué au calcul du pont d'Asnières la méthode dont je me fais en ce moment l'apôtre, la dépense n'eût pas été accrue d'une quantité relativement notable.

« Dans tout ce qui précède, je suis resté à dessein sur le terrain de la discussion du compte rendu, celui où il ne s'agissait que de ponts de chemins de fer.

« Mais il paraît vous avoir échappé, monsieur, à vous et à M. de Dion, dont les observations critiques ont motivé les vôtres, que les ingénieurs qui, dans ces dernières années, ont traité dans toute sa généralité le problème de la résistance des poutres droites, n'ont point envisagé seulement la stabilité des ponts de cette nature destinés à l'exploitation des chemins de fer, mais celle aussi des ponts-routes, auxquels donne lieu fréquemment, aujourd'hui, l'achèvement ou le perfectionnement du réseau de nos voies de communication ordinaires.

« Or, si pour les ouvrages de la première catégorie, une circulaire ministérielle de 1858 a, en effet, défini et limité les cas réglementaires de surcharge à prévoir, aucune décision n'existe, que je sache, qui ait circonscrit le champ des épreuves qu'un pont-route doit subir.

« De cette situation, sans doute, comme aussi très-vraisemblablement des simplifications apportées, dans ces dernières années, à la solution du problème général des ponts droits, — il y a dix ans inabordable, — il est résulté que, même pour les ponts de chemin de fer, c'est devenu comme un usage de sanctionner les calculs de stabilité présentés pour un ouvrage de la nature de ceux que nous considérons par la prise en considération des hypothèses de surcharge les plus défavorables. C'est ainsi que le dernier né des grands ponts métalliques de la ligne du Midi, celui de Bordeaux sur la Garonne, vient lui-même, dans un intéressant mémoire de M. l'ingénieur Regnauld, inséré aux *Annales de* 1867, de subir, *à posteriori*, cette épreuve. Sans plus s'exagérer que je ne l'ai fait moi-même, au sujet du pont d'Asnières, l'importance pratique d'un léger accroissement du coefficient de travail maximum du métal, l'auteur du mémoire arrive à constater, pour ce coefficient, un accroissement relatif de 1/5, résultant de l'application des formules générales données en 1860 par M. l'ingénieur Piarron de Mondesir, dans un savant ouvrage.

« Je limiterai là mes observations, pour ne point sortir outre mesure des bornes d'une simple lettre.

« Il ne me reste plus, monsieur, qu'à réclamer de votre loyale impartialité d'en vouloir bien donner, le plus tôt possible, communication à votre Société, et en assurer l'insertion dans le compte rendu de sa plus prochaine séance.

« Veuillez agréer, monsieur, etc. »

M. DE DION fait remarquer que, bien que M. Renaudot s'abrite derrière la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées* pour justifier les expressions dont il s'est servi, il ne résulte de cette nouvelle attitude aucun motif de modifier les observations qu'il a présentées dans la séance du 22 novembre 1867.

Quant à la question technique, qui est la plus importante, il demande qu'elle soit entièrement réservée pour une discussion ultérieure.

M. MOLINOS dit que M. Renaudot a commis une erreur matérielle dans les chiffres qu'il avance, relativement au pont d'Asnières, et il le démontrera lorsque, suivant le désir exprimé par M. le Président, la discussion pourra s'ouvrir à ce sujet à la suite de la lecture du mémoire de M. Albaret.

M. RICHARD donne communication de sa Note sur la construction et l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local [1].

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Richard, et fait remarquer que le grand nombre de chiffres énoncés dans son mémoire demande un examen préalable avant d'entamer la discussion; il pense donc qu'il convient de donner la parole à M. Molinos pour sa communication sur les chemins de fer des sucreries de Tavaux-Pontséricourt, qui servira de terme de comparaison avec la communication de M. Richard.

M. MOLINOS donne lecture de sa Note.

M. FLACHAT fait observer que la contradiction qui semble exister entre les principes préconisés par chacun des auteurs des deux communications précédentes n'est qu'apparente, et résulte d'une confusion de mots.

C'est à tort qu'un chemin de 150 kilomètres, décrit comme traversant plusieurs départements, desservant des villes importantes, réunissant de grandes lignes, est assimilé à un chemin d'*intérêt local*, dont la condition est d'être établi dans la circonscription d'un département, qui peut être concédé, dans certains cas, comme celui de Pontséricourt, par un simple arrêté préfectoral.

Le chemin de fer dont M. Richard a entretenu la réunion est un chemin de fer d'*intérêt général* à tous les points de vue, et alors les questions qu'il sent le besoin de résoudre dans une forme absolue ne se posent même pas. M. Richard prend pour base de discussion un chemin de fer de 150 kilomètres, donnant immédiatement une recette de 10,000 fr. par kilomètre. Or, au tarif moyen de 0 fr. 06 par unité de transport (voyageur ou tonne de marchandise), ce produit suppose un mouvement de 160,000 unités par kilom., soit en voyageurs ou tonnes de marchandises 440 unités par jour.

Devant un pareil trafic, y a-t-il lieu de discuter les questions de largeur de la voie, de poids du rail, de transbordement, les conditions du matériel, les appropriations des stations? Évidemment les solutions sont ici les mêmes que pour les deuxième, troisième et quatrième réseaux. Il reste toujours vrai qu'en ce qui concerne l'économie de la construction, on doit admettre un écart considérable entre le chemin le plus facile et le chemin le plus difficile; mais, dans le groupe de lignes d'*intérêt général*, les conditions techniques d'usage doivent rester les mêmes sur l'ensemble du territoire. Quant à l'économie de la construction, il ne peut y avoir, entre deux chemins de même ordre, de comparaison basée sur des termes absolus. La moyenne d'un chemin de fer traversant la France, construit dans les conditions ordinaires,

1. Voir cette note, page 128, et celle de M. Molinos, page 146.

coûtera 400,000 fr. par kilom., et cependant bien des parties de ce chemin ne dépasseront pas 120 à 140,000 fr. par kilom.

Si donc on veut rester dans les généralités, le point de vue économique doit être tout autre.

Aujourd'hui 15,700 kilom. de chemins de fer d'intérêt général sont en exploitation; 6,500 kilom. sont en construction, à raison de 1,000 kilom. et de 400 millions de dépenses par an, y compris les aménagements et le matériel que l'accroissement du trafic exige sur l'ancien réseau.

Le Gouvernement puise, à l'aide de la garantie d'intérêt et par l'intermédiaire des Compagnies, dans l'épargne privée, tous les ans depuis dix ans, 400 millions qui, immédiatement, produisent 1 à 2 pour cent d'intérêt, et après huit ans 3 1/2 pour cent, pour dépasser 5 pour cent au bout de dix à douze ans.

En ce moment, le nouveau réseau produit 21,000 fr. par kilom., ce qui suppose 12,000 fr. de revenu net. Le produit brut varie de 10,000 fr. pour le Midi, à 27,000 fr. pour le Nord, tandis que la moyenne de l'ancien réseau est de 66,500 fr.

Cette immense opération s'accomplit dans des conditions dont on ne peut contester ni la grandeur ni la simplicité.

La garantie d'intérêt n'est effective que pendant un petit nombre d'années; mais pendant qu'elle fonctionne, le prix du transport étant réduit dans la proportion de 4 à 1, le pays recueille un avantage infiniment plus élevé que le sacrifice momentané qu'il s'impose.

Et qu'on ne dise pas que l'œuvre se poursuit dans des vues administratives qui ôtent à l'initiative individuelle, à la concurrence, à l'esprit d'amélioration, son activité et son génie. Sous le rapport technique, le progrès s'accomplit fortement, régulièrement, et avec une émulation ardente entre tous les services. Les trois cent cinquante ingénieurs, membres de cette Société, qui sont engagés dans les chemins de fer, pourront vous dire — mais vous ne l'ignorez pas — que dans leurs services techniques du matériel, de la traction, du mouvement, comme dans ceux du trafic et de la construction, comme enfin dans le contrôle officiel, rien ne gêne le travail incessant des améliorations et du développement exigés par l'intérêt public.

Voilà donc ce qui se fait en ce moment; telle est l'œuvre, en ce qui concerne les chemins de fer d'intérêt général.

A côté de cette solution y a-t-il place, comme paraît le penser M. Richard, pour un autre système, pour un autre moyen de faire des chemins de fer d'intérêt général; pour les faire plus vite ou autrement? L'examen de cette question est nécessaire, car elle s'applique aussi bien aux chemins d'intérêt local.

Et d'abord quels sont les besoins?

S'il existe un rapport quelconque entre le réseau des voies ferrées et celui des voies de terre, en ne comptant que les routes impériales et départementales, les chemins de grande communication et d'intérêt commun, et en excluant 367,000 kilom. de chemins ordinaires, les termes de ce rapport seront : pour les voies ferrées 15,000 kilom., et pour les grandes voies de terre 250,000 kilom. Certes l'intérêt d'économiser les trois quarts des frais de transport sur 250,000 kilom. est assez considérable pour faire surgir beaucoup d'entreprises; les besoins sont donc très-étendus : examinons les ressources.

Mettons d'abord de côté le moyen qui a réussi exclusivement dans certains pays, et pendant quelques années en France : les émissions d'actions.

Aujourd'hui ce moyen est impossible; le titre au porteur, cette grande base de

l'association, est repoussé par la défiance publique; une loi toute de suspicion l'a signalé; le capitaliste lui-même se défie de la loi nouvelle d'organisation des Sociétés. Le public ne la comprend pas, et il n'accepte plus, en fait de chemins de fer, que le titre dont l'intérêt lui est garanti par l'État.

Faut-il compter sur le budget départemental? Il était, il y a vingt ans, de 119 millions; peut-être est-il de 150 millions aujourd'hui; mais rien ne semble pouvoir en être détaché. Le département n'a à sa disposition qu'une part du produit des centimes additionnels des communes; ce qu'il donnera, il faut qu'il le leur demande; mais le budget communal ne doit guère s'élever aujourd'hui à plus de 400 millions. Les subventions à en attendre seraient-elles de 6, de 12 ou de 18 millions, que ce serait encore une bien pauvre ressource.

Voilà l'étendue des moyens financiers pour l'exécution des chemins de fer, sans compter la part que l'État peut puiser dans le budget. Mais, en ce qui concerne les chemins de fer d'intérêt général, il n'est pas présumable que le Gouvernement ajoutera des subventions importantes à sa garantie d'intérêt, celle-ci étant destinée à devenir de plus en plus effective, à mesure qu'il tracera les chemins dans des contrées moins peuplées; or, ni les communes ni les départements ne suffiraient à compenser l'abstention de l'État.

Il faut bien convenir qu'il en sera de même pour les chemins de fer d'intérêt local, à moins que quelque grande combinaison ne vienne appeler l'épargne privée aux travaux les plus féconds pour le pays.

Quant à présent, devant cette faiblesse de moyens, est-il logique de refuser une solution économique du genre de celle préconisée par M. Molinos, pour un ordre de communications qui prend la culture, la fabrique, la mine à son centre, et en porte les produits à petite distance jusqu'à la gare prochaine d'un chemin de fer; qui emprunte une partie de la route, ou du chemin vicinal, sans entraver la circulation ordinaire, affecte des courbes de 90 à 100 mètres de rayon au moyen d'une voie d'un mètre, effleure le sol, se dispense, par la légèreté de son matériel, d'autres travaux d'art que ceux des chemins ordinaires? Devant les exemples nombreux d'une pareille solution, les chemins de Blanzy, du Creusot, d'Anvers à Gand, de Commentry, de Mondalazac, le chemin suédois et bien d'autres, à voie de $0^{m}.80$ à 1 mètre, dont les uns transportent 4 à 500,000 tonnes par an (Commentry) et un autre 650,000 voyageurs outre 260,000 tonnes (Anvers à Gand), ne doit-on pas admettre que du moment qu'une pareille voie peut obtenir une réduction du prix de transport de 4 à 1 comme le font les grands chemins de fer, par rapport aux routes ordinaires, avec des conditions de vitesse presque égales à celle des trains mixtes et une sécurité semblable, il faut se contenter de cela. M. Molinos considère qu'un tarif de 10 cent. peut suffire à ces chemins qui sont substitués à des voies où le transport coûte 40 cent. et devient en certaines saisons presque impossible; c'est là le point principal sur lequel la discussion peut porter avec fruit. L'économie est la première loi, à la condition qu'elle s'applique dans un rapport convenable à la construction et à l'exploitation; car les ressources sont bien faibles, et il faut tirer le meilleur parti possible du peu que nous avons.

M. Richard fait observer que M. Flachat lui prête une opinion qui n'est pas la sienne. Il ne dit pas dans sa note que tout chemin qui n'est pas susceptible de rapporter 10,000 fr. par kilomètre ne doit pas être construit; il a dit que certains chemins d'intérêt local, comme ceux de Seine-et-Marne, par exemple, qui rencontrent beaucoup de grandes lignes avec lesquelles ils doivent fusionner un jour ou l'autre,

doivent par ce seul fait affecter les allures des chemins d'intérêt général, ce qui, dans ce cas particulier, l'établissement de la grande voie et des accessoires *ad hoc*, ne pourrait fructueusement s'appliquer qu'autant qu'un revenu kilométrique de 10,000 francs était assuré au chemin à construire.

Dans le cas de revenu probable moindre, il est naturellement plus logique et plus rationnel de descendre aux petites lignes à voie étroite et petit matériel.

M. Nordling est de l'avis de M. Flachat; il considère que la question des chemins de fer vicinaux est bien plus une question d'exploitation qu'une question de construction.

Il a vu dans le Centre exploiter quelques sections à l'état de tronçons dans des conditions de produit certainement supérieur à celles de beaucoup de chemins de fer vicinaux projetés. Eh bien! pendant cinq à six ans la dépense d'exploitation a excédé les recettes. Ces tronçons rapportaient 6 à 8,000 fr. de recette brute par kilomètre.

Un réseau vicinal étant construit, il s'agira de trouver quelqu'un pour l'exploiter, car personne ne peut exploiter à perte.

En ce qui touche le transbordement, M. Nordling pense qu'on s'exagère cette objection contre les voies étroites; ce transbordement existe en fait dans les gares de bifurcation des plus grands réseaux, à cause de la tendance naturelle de compléter le chargement des wagons.

M. Nordling croit avoir entendu parler de la proportion du quart de trafic total qu'atteindrait ce transbordement volontaire.

M. Courras fait observer que les wagons de la ligne d'Orléans ne pouvant passer sur le réseau de l'Ouest par suite d'une disposition spéciale du matériel, il se fait un transbordement considérable, et que cette manœuvre ne doit pas coûter bien cher pour être faite sur une aussi grande échelle.

M. Richard cite le chiffre de 60 cent. par tonne donné par M. Férot dans son ouvrage sur les chemins de fer en 1865.

M. Nordling croit ce chiffre beaucoup trop élevé.

M. Molinos fait remarquer que le chiffre de 25 cent. qu'il a énoncé dans sa communication est le chiffre qu'il paye lui-même pour le charbon qu'il reçoit du chemin de fer du Nord, et que ce prix comprend le déchargement et le rechargement en voitures; ces deux manœuvres sont plus onéreuses qu'un transbordement effectué sur un chemin de fer avec des moyens qui pourraient être perfectionnés et expéditifs.

M. Nordling revient sur la prévention qui existe généralement contre les chemins à voie étroite; il croit qu'elle constitue un anachronisme, qui remonte à l'origine des chemins de fer, où la différence des voies internationales a fait naître des inconvénients universellement sentis. Mais ce qui était vrai pour les grandes artères peut fort bien être une erreur pour les embranchements vicinaux.

M. Molinos appuie cette observation en ajoutant que l'objection de la différence des voies n'est péremptoire que pour les lignes de transit qui relieraient entre elles deux grandes voies. Les chemins d'embranchement sont évidemment dans une situation toute différente.

M. Nordling exprime le vœu que le procès-verbal de cette séance puisse être distribué assez tôt pour permettre aux membres intéressés de préparer les éléments d'une discussion sérieuse.

NOTE

SUR

L'INDUSTRIE DES ALLUMETTES CHIMIQUES

PAR M. HENRI PELIGOT.

Appelé à examiner les produits envoyés par les fabricants d'allumettes à l'Exposition universelle de 1867, nous avons rencontré dans cette étude des faits extrêmement intéressants, que nous croyons assez peu connus pour mériter de faire l'objet d'une note que la Société pourrait entendre avec quelque intérêt.

Nous nous proposons donc, dans ce travail, de rappeler d'abord, aussi rapidement que possible, l'histoire de la fabrication des allumettes, pour arriver ensuite aux conditions actuelles de cette industrie, dont nous avouons n'avoir pas soupçonné l'importance avant de l'étudier d'une manière spéciale.

Quelques données statistiques vont immédiatement faire comprendre cette importance.

On estime à six le nombre d'allumettes consommées moyennement en France, par tête et par jour. Ce chiffre est relativement peu considérable; il s'élève à huit en Angleterre et à neuf en Belgique. Or, en ne prenant pour base que la moyenne admise pour la France, et en l'appliquant à l'Europe entière, on arrive à une consommation journalière de deux milliards d'allumettes de toute nature.

Le poids moyen de l'allumette varie beaucoup. Celles qui sont le plus employées en France, les allumettes dites à la livre, sont de beaucoup

NOTA. — Pour la partie historique de ce travail, nous avons puisé principalement dans le rapport fait en 1855, par M. le professeur Stas, de Bruxelles, au nom du jury de la dixième classe; nous avons également consulté avec fruit le rapport de M. Hoffmann, sur les mêmes produits à l'exposition de Londres, en 1862.

Pour ce qui concerne les procédés de fabrication, ils sont, pour la plupart, extraits du rapport de M. Eug. Peligot, à la Chambre de commerce de Paris, sur l'exposition des produits de l'Industrie autrichienne, ouverte à Vienne le 15 mai 1845. — Paris, Imp. Dondey Dupré, 1846.

les plus lourdes. On en trouve environ 3000 dans un kilogramme. Le même poids produit de 8000 à 10,000 allumettes rondes ou carrées, comme celles que l'on fabrique en Autriche et en Suède.

On peut admettre, eu égard à la quantité plus considérable d'allumettes lourdes livrées au commerce, un poids moyen d'un kilogramme pour 6000 allumettes, ce qui représente par jour une consommation de plus de 300,000 kilogrammes de bois.

Les bois le plus généralement employés pour cette fabrication sont le tremble et le peuplier.

Le mètre cube plein de tremble pèse 650 kilogrammes, à l'état de dessiccation nécessaire pour fabriquer des allumettes; le mètre cube de peuplier, dans les mêmes conditions, pèse environ 430 kilogrammes.

Mais comme les bois ne sont pas achetés au mètre cube plein, mais au mètre cube cordé, qui comporte environ 44 p. 100 de vides, le mètre cube marchand ne pèse, pour le tremble, que 364 kilogrammes, et, pour le peuplier, que de 240^{kg}.800. On peut donc admettre, comme moyenne, un poids approximatif de 300 kilogrammes par mètre cube marchand.

D'un autre côté, il faut admettre un déchet assez important, résultant des sciages, des fausses coupes, de l'impossibilité d'employer l'écorce, etc.; ce déchet ne peut être évalué à moins de 10 à 12 p. 100; ce qui réduit à 250 kilogrammes environ le poids du mètre cube marchand réellement utilisé à la fabrication des allumettes.

On voit que, dans ces conditions, la fabrication des allumettes exige, pour l'Europe seulement, une consommation de bois qui n'est pas moindre de 400,000 mètres cubes par année.

Nous avons négligé, dans l'énoncé de ces chiffres, ceux qui se rapportent à la fabrication des allumettes-bougies, qui, bien qu'ayant pris depuis quelques années une grande extension, n'a qu'une très-minime importance relativement à la fabrication des allumettes de bois.

Comme ces dernières, les allumettes-bougies varient considérablement de poids. Celles que l'on emploie le plus généralement en France fournissent environ 6500 à 8000 allumettes au kilogramme. Ce chiffre descend à 2000 pour de grosses allumettes spéciales, et s'élève jusqu'à 12,500 pour de très-petites allumettes, dont nous n'avons rencontré de spécimens que dans l'exposition espagnole.

Les matières premières autres que le bois, employées dans cette facation, sont assez peu nombreuses, mais il serait difficile de donner des chiffres exacts pour ces différents produits. Nous citerons seulement le phosphore, dont la consommation annuelle est de 210,000 kilogrammes environ, puis le chlorate de potasse, le soufre, le minium, le sulfure d'antimoine, la gomme, la colle forte, etc.

L'industrie des allumettes a donné lieu à la création d'un assez grand nombre d'usines, dont quelques-unes ont une très-réelle importance. On en cite, en Autriche, qui occupent jusqu'à 5000 ouvriers. En

France, l'établissement le plus important, celui de MM. Four et Cie, de Marseille, occupe environ 600 ouvriers. On peut admettre que le nombre total d'ouvriers employés dans les divers établissements de l'Europe atteint 50,000. Les produits fabriqués ont une valeur de plus de 250 millions.

La fabrication des allumettes chimiques est cependant une industrie toute récente encore. Ce n'est qu'en 1832 que furent faites les premières allumettes à friction.

Pour obtenir du feu instantanément, il faut mettre en présence des corps oxygénés, cédant facilement leur oxygène à des matières très-combustibles. Berthollet fit connaître le premier la propriété du chlorate de potasse, de brûler les matières combustibles avec lesquelles on le mélange quand on soumet le mélange à un frottement brusque entre deux corps durs, ou qu'on le met en contact avec de l'acide sulfurique.

Le chlorate de potasse additionné de sucre, d'amidon et de sulfures, tels que le cinabre ou le sulfure d'antimoine, produit instantanément du feu au contact de l'acide sulfurique.

Cette propriété, découverte probablement en France vers 1808, a donné naissance aux anciens briquets dits *briquets oxygénés*, qui ont précédé les allumettes chimiques. Leur fabrication prit peu de développement dans notre pays, et fut établie en Allemagne en 1818, par le docteur Wagemann, dont l'usine occupait, dès 1815, environ 400 ouvriers.

La fabrication de l'allumette était la suivante :

On commençait par plonger le bout dans le soufre fondu, puis ensuite dans un mélange composé de chlorate de potasse, de soufre, de cinabre et de gomme.

On mettait, d'un autre côté, dans une bouteille, de l'amiante et de l'acide sulfurique, et l'on obtenait du feu en plongeant dans la bouteille le bout de l'allumette, préparé comme nous venons de le dire.

Les inconvénients de ces briquets étaient nombreux : il fallait boucher avec soin la bouteille, l'acide sulfurique, corps très-avide d'eau, se détériorant rapidement au contact de l'atmosphère; ces allumettes répandaient une odeur désagréable, et produisaient souvent, en s'enflammant, une défragration qui n'était pas exempte de danger.

Elles furent cependant exclusivement employées jusqu'en 1832, époque à laquelle furent faites les premières allumettes à friction dites *congrèves*.

La composition de la pâte de ces allumettes était la suivante :

Une partie de chlorate de potasse;

Deux parties de sulfure d'antimoine;

Gomme.

Pour produire l'allumage, il fallait frotter vivement le bout de l'allumette entre deux papiers sablés. Pour brûler le soufre du sulfure d'antimoine, une température très-élevée était nécessaire; de là la nécessité

d'un frottement très-violent déterminant souvent la séparation de la matière chimique et du bois, et occasionnant fréquemment une projection des matières enflammées. Aussi ces allumettes furent-elles peu employées.

En 1833, on commença à remplacer le sulfure d'antimoine par le phosphore.

Étienne Rômer, auquel on devait déjà l'invention du rabot dont nous parlerons plus loin, et M. J. Preshel, firent les premières pâtes phosphorées. En mélangeant le chlorate de potasse au phosphore, on réunissait le corps le plus combustible au corps le plus comburant connu; le problème semblait donc complétement résolu; mais on reconnut bientôt que les allumettes ainsi préparées étaient loin d'être exemptes de dangers.

Des explosions fréquentes avaient lieu dans les usines; les allumettes prenaient feu spontanément, souvent en grandes masses dans les transports; il se produisait une défragration et fréquemment des projections lors du frottement.

Les compagnies d'assurances et les entrepreneurs de transports refusèrent d'assurer et de transporter ces produits, dont plusieurs gouvernements interdirent l'usage. Les allumettes chimiques furent proscrites de la Bavière, du grand duché de Brunswick, du Hanovre et de la Sardaigne jusqu'en 1840.

En 1835, Octave Trevany remplaça partiellement le chlorate de potasse par le minium et le peroxyde de manganèse, et le phosphore par le sulfure d'antimoine. Les allumettes ainsi préparées présentaient les mêmes inconvénients que les précédentes.

En 1837, M. J. Preshel découvrit que le bioxyde de plomb (oxyde puce) constituait un excellent oxydant du phosphore; il supprima complétement le chlorate de potasse de la pâte phosphorée, et obtint ainsi le plus grand perfectionnement que l'on connaisse encore aujourd'hui dans la préparation des allumettes au phosphore ordinaire. On n'avait plus à craindre d'explosions violentes dans la fabrication; les transports présentaient beaucoup moins de danger, et il se produisait rarement des projections lors de l'allumage. A partir de cette époque, la fabrication des briquets oxygénés disparut à peu près complétement.

Le prix élevé du bioxyde de plomb le fit bientôt remplacer en partie par l'azotate de plomb, oxydant aussi énergique, et presque immédiatement un grand nombre de fabriques s'élevèrent en Autriche.

La composition des premières pâtes phosphorées était la suivante :

Chlorate de potasse.	11	parties.
Phosphore.	44	—
Gomme	45	—
Bleu de Prusse (coloration).	0.5	—

Celle de M. Preshel se composait de :

Azotate de potasse	14	parties.
Peroxyde de manganèse	16	—
Phosphore	9	—
Gomme	16	—

Le docteur Boettger, de Francfort, donne une autre composition :

Azotate de potasse	10	parties.
Phosphore	4	—
Minium ou ocre rouge	3	—
Colle forte	6	—
Smalt (coloration)	2	—

L'expérience a démontré que le mélange d'oxyde puce et d'azotate de potasse doit être préféré ; il n'attire pas autant l'humidité que le salpêtre, et l'oxyde de plomb ne nuit pas à la combustion comme le fait le carbonate de potasse, qui se forme lors de la décomposition du salpêtre.

Le remplacement de la gomme par la colle forte est un fait très-important ; la colle forte coûte beaucoup moins cher, et la pâte faite avec cette matière attire moins l'humidité que la pâte à la gomme.

La colle forte n'est cependant pas sans inconvénient. Les allumettes préparées avec la pâte ainsi composée conservent au bout une boule qui s'échauffe et qui ne peut brûler complétement, tandis que celles préparées avec la pâte à la gomme se consument entièrement. Cette boule peut occasionner des brûlures, sans gravité il est vrai, mais cependant désagréables.

Dès 1842, M. Preshel avait remplacé la gomme par la dextrine. Plus tard il recouvrit le bout de l'allumette d'un vernis résineux destiné à préserver la pâte de l'humidité et à empêcher les émanations du phosphore. Il avait déjà, en 1833, fait des allumettes de luxe, dans lesquelles le soufre était remplacé par la cire, l'acide stéarique ou les matières résineuses. C'est encore aujourd'hui de cette manière que se fabriquent les allumettes de luxe dites *allumettes parafinées*.

En France, l'industrie des allumettes chimiques est restée très-longtemps stationnaire. Jusqu'en 1847, le chlorate de potasse a été presque exclusivement employé comme oxydant du phosphore. On n'avait que des allumettes très-détonnantes, très-dangereuses par les projections qu'elles donnaient.

En 1846, M. Eug. Peligot fit un rapport à la chambre du commerce de Paris sur l'exposition de Vienne. Il y indiqua avec détails l'état de la fabrication des allumettes dans ce pays, et donna, avec les procédés de fabrication, l'historique du progrès accompli depuis 1832. L'industrie française se transforma rapidement, et, bien que les produits communs soient, aujourd'hui encore, très-inférieurs à ceux de l'Autriche, ils sont

très-supérieurs à ceux que l'on employait autrefois. On peut même dire que les fabricants français peuvent faire, et font, dans certaines usines du moins, aussi bien que les industriels autrichiens.

Jusqu'à ces dernières années, l'Angleterre était, dans cette fabrication, plus arriérée encore que la France. Le chlorate de potasse entre en très-forte proportion dans la pâte des allumettes anglaises, qui s'altèrent rapidement par l'humidité.

Voici la composition d'une pâte employée en Angleterre :

Eau	4	parties.
Colle	2	—
Phosphore	1.5 à 2	—
Chlorate de potasse	4 à 5	—
Verre pilé	3 à 4	—

En France, M. Payen indique comme composition généralement employée.

Pour les allumettes à bouts soufrés :

Pâte à la colle forte.

Phosphore	2.5	parties.
Colle forte	2.0	—
Eau	4.5	—
Sable fin	2.0	—
Ocre rouge	0.5	—
Vermillon	0.1	—

Pâte à la gomme.

Phosphore	2.5	parties.
Gomme	2.5	—
Eau	3.0	—
Sable fin	2.0	—
Ocre rouge	0.5	—
Vermillon	0.1	—

Pour les allumettes sans soufre :

Phosphore	3.0 parties.		
Gomme	0.3 —		
Eau	3,0 —		
Sable	2.0 —		
Bioxyde de plomb	2.0 ou	minium	2.0
		acide azotique	0.5

Depuis 1855, beaucoup de tentatives ont été faites pour perfectionner les allumettes au phosphore ordinaire. On est parvenu à faire d'excel-

lents produits en mettant dans la pâte une très-petite quantité de phosphore et en amenant la substance à un état de division extrême. Pour obtenir ce résultat, on prépare la masse avec du phosphore dissous dans le bisulfure de carbone. La masse peut se préparer à froid. M. Mack établit qu'à l'aide de ce procédé on peut réduire la proportion du phosphore à $\frac{1}{300}$ de celle qu'on emploie ordinairement.

On a fait des allumettes dites *galvanisées*, dans lesquelles le vernis est remplacé par une couche très-mince de sulfure de plomb.

On est arrivé enfin, en Allemagne surtout, à produire les allumettes à un prix aussi bas que possible. A Vienne, 50 paquets, contenant 9500 allumettes, coûtent 35 kreutzers, ce qui les met à 0f,0242 le cent.

Avant de parler des allumettes au phosphore amorphe, des allumettes sans phosphore, et plus généralement des allumettes dites de sûreté, nous allons dire quelques mots sur les dangers que présentent la fabrication et l'usage de ces produits.

Ces dangers sont de deux sortes : le danger d'incendie et le danger d'empoisonnement.

L'incendie peut se déclarer dans l'usine même; il peut être, dans ce cas, accompagné d'explosion, surtout quand on emploie le chlorate de potasse. En dehors des usines, l'incendie est surtout causé par l'imprudence du consommateur. Ce danger est un résultat prévu, inévitable des qualités de l'allumette; il est en raison même de sa sensibilité, c'est-à-dire de la facilité avec laquelle elle produit du feu lorsqu'on veut s'en servir. Pour que cet inconvénient disparaisse il faut que le consommateur cesse de réclamer cette sensibilité.

Quand on n'emploie pas de chlorate dans la pâte, l'incendie dans l'usine n'est pas plus à craindre que pour tout autre établissement industriel mettant en œuvre des matières très-inflammables ; les pâtes préparées avec des sels de plomb ne présentent même que peu de danger. La pâte s'enflamme très-souvent quand on fait le mélange, mais l'inflammation n'est pas accompagnée de déflagration, et l'extinction se fait immédiatement par un simple brassage; si, au contraire, on emploie du chlorate de potasse, il suffit de quelques parcelles de ce corps laissées à l'état sec sur les bords de la bassine pour produire une explosion par la seule action du choc du rable. Toute la pâte prend feu instantanément et l'ouvrier qui la prépare est presque toujours victime de l'accident. Les fabricants d'allumettes ne sauraient donc proscrire avec trop d'énergie l'emploi du chlorate de potasse[1].

Le danger d'incendie des propriétés est, comme nous le disions plus

1. A Paris, les autorisations données par le Préfet de police portent toutes cette prescription :

N'employer dans la confection des allumettes ni chlorate de potasse, ni autre sel rendant les mélanges explosibles.

haut, pour ainsi dire le corollaire indispensable des qualités mêmes que le public recherche dans l'allumette. Il présente une extrême gravité.

Nous extrayons d'un très-remarquable rapport fait au Sénat par M. Dumas sur une pétition émanant de plusieurs compagnies d'assurances les chiffres suivants, qui donneront une idée des pertes causées par ces sinistres.

Dans le département du Haut-Rhin, de 1834 à 1843 on a constaté 835 sinistres; de 1852 à 1861, ce chiffre s'est élevé à 1,395.

Ces incendies se répartissent de la manière suivante :

	1834-1843	1852-1861
Incendies causés par les enfants. . . .	19.	75
— accidentels	101.	175
— causés par la malveillance. .	119.	149

C'est-à-dire que de 1852 à 1861, les sinistres causés par les enfants ont été quatre fois plus nombreux que de 1834 à 1843; les sinistres accidentels ont augmenté de 1 à 1.75 ; les incendies volontaires de 1 à 1.25.

Dans les départements de la Seine-Inférieure et de l'Eure, on a constaté de 1852 à 1861 4,285 sinistres sur lesquels 820 sont attribués aux allumettes et 727 dont on n'a pu trouver la cause, mais qui ont probablement la même origine.

Sur les 820 incendies dont la cause est connue, 212 ont été allumés par des enfants. L'ensemble des 1,547 incendies ci-dessus représente une perte de 1,967,000 francs.

La compagnie d'assurances *la Rouennaise* a remboursé 2,340 sinistres sur lesquels 2/10 ont été causés par les allumettes; 1/10 par les enfants et 1/10 par imprudence ou malveillance.

En 1859, 1860 et 1861, *la Normandie* a remboursé 46 sinistres dus incontestablement aux allumettes.

En dix années, *l'Orléanaise* a remboursé 1,200 sinistres dans le Loiret. Dans ce nombre 527 sont dûs aux allumettes; 138 ont été causés par les enfants.

La Société mutuelle du Mans a payé en dix ans 7,000 sinistres qui se divisent de la manière suivante :

Incendies causés par les enfants.	840
— causés par des allumettes perdues ou jetées . .	1050
— causés par malveillance au moyen d'allumettes.	700
— causés par d'autres causes	4410

A Paris, de 1840 à 1858, le nombre d'incendies causés par les allumettes ne dépassait pas 8 par an en moyenne. En 1860, on en constatait 17, et 42 en 1862.

Le nombre d'incendies causés par les enfants était dans les mêmes périodes :

De 1840 à 1858	4	par année.
En 1860	5	—
En 1862	13	—

On estime à plus de 3,000,000 les sommes remboursées chaque année par les compagnies d'assurances pour couvrir des sinistres dûs aux allumettes chimiques. Les pertes sont bien plus considérables encore, puisque tout n'est pas assuré.

Il ne faudrait pas, cependant, tirer des chiffres que nous venons d'énoncer une conclusion trop rigoureuse, d'abord parce qu'ils émanent des compagnies d'assurances et qu'incontestablement la proportion des valeurs assurées s'est considérablement accrue depuis 25 ans, puis parce que, surtout dans les départements que nous avons cités, la valeur assurable elle-même a subi une importante augmentation. Enfin, on ne peut guère admettre comme imputables aux allumettes les sinistres que la malveillance a causés, quel que soit l'instrument qui a servi à commettre le crime.

Quoi qu'il en soit, il est certain que la très-grande facilité avec laquelle tout le monde peut aujourd'hui se procurer du feu donne lieu à des sinistres nombreux. Les incendies qu'allument les enfants en jouant avec des allumettes doivent être, plus que tous les autres, considérés comme presque exclusivement dûs aux allumettes, et ils sont d'autant plus regrettables que ceux qui les ont causés en sont trop souvent les premières victimes.

Le danger d'empoisonnement, comme le danger d'incendie, est à redouter pour les ouvriers occupés dans les fabriques d'allumettes et pour le public qui les emploie.

Le phosphore se transforme au contact de l'air en acide phosphorique, corps gazeux. L'inhalation de ce gaz donne lieu à des affections bronchiques, à la carie des dents, au gonflement des os maxillaires, enfin à la nécrose complète de ces os.

Les ouvriers qui ont le plus à redouter ces accidents sont ceux qui opèrent le chimicage et ceux qui dégarnissent les presses ou mettent les allumettes en paquets. A l'origine de cette fabrication les premiers surtout étaient rapidement atteints par les maladies; aujourd'hui le danger est beaucoup atténué et a même presque complétement disparu. On est parvenu par une disposition convenable d'ateliers pourvus d'une aération et d'une ventilation bien entendues, à protéger les ouvriers contre les émanations du phosphore, et il n'est pas rare de voir des ouvriers travaillant depuis vingt ans aux opérations les plus dangereuses de la fabrication sans avoir jamais ressenti aucune indisposition sérieuse.

Quant au danger d'empoisonnement que le public peut avoir à craindre, il est d'un tout autre ordre.

Il n'y a pas d'année où les annales judiciaires n'aient à enregistrer quelque tentative d'empoisonnement commise au moyen d'allumettes chimiques. Cinq centigrammes de phosphore ont suffi pour déterminer la mort, et c'est là un poison que tout le monde a sous la main.

Mais si le crime peut être facilement commis, les tentatives criminelles sont fréquemment déjouées. L'odeur nauséabonde et caractéristique que répand le phosphore donne aux aliments auxquels on le mélange une saveur qui inspire le dégoût et qui permet bien souvent à la victime de repousser l'aliment empoisonné qu'on lui présente. Enfin, si le crime s'accomplit, les traces qu'il laisse permettent à la science de le constater facilement.

Quoi qu'il en soit, c'est là un danger sérieux, et on ne peut méconnaître qu'un certain nombre d'empoisonnements s'accomplissent, devant lesquels les meurtriers auraient peut-être reculé sans la facilité qu'ils avaient pour se procurer le poison.

Nous ne sommes cependant pas de ceux qui considèrent le danger d'empoisonnement comme plus grave que le danger d'incendie. L'incendie est très-fréquemment accompagné de mort, et les pertes matérielles qu'il occasionne ont souvent une incalculable gravité; c'est donc incontestablement là que réside, pour nous, le plus grave inconvénient des allumettes chimiques.

Cet inconvénient, comme nous l'avons dit déjà, est d'autant plus grand que le produit est plus perfectionné dans le sens que recherche le public, la sensibilité. Il vient aussi de l'extrême bon marché de l'allumette, qui fait qu'on n'y attache aucune importance. Les personnes les plus dénuées de ressources ne se donnent même pas la peine de ramasser une allumette, et on laisse à tout le monde la disposition de ce produit.

Après avoir cherché à produire des allumettes aussi sensibles et aussi douces que possible, on a pris le côté inverse de la question, et on s'est ingénié à faire des allumettes plus difficiles à allumer, et dont la composition ne présente pas les dangers d'empoisonnement des allumettes phosphoriques ordinaires.

Les produits les plus intéressants fabriqués d'après les données sont, sans contredit, les allumettes à base de phosphore amorphe avec frottoir spécial.

Le phosphore amorphe, découvert par M. le professeur Schrötter, se distingue du phosphore ordinaire par un ensemble de propriétés spéciales. Il ne donne pas d'émanations ni de lueurs, ne s'enflamme pas à une température inférieure à 200°, et n'est nullement vénéneux.

Cette dernière qualité avait, dès 1847, invité M. Preshel à l'employer à la fabrication des allumettes, et cet industriel distingué fit, dès ce moment, des allumettes à friction dont la pâte était principalement composée de

phosphore amorphe et de chlorate de potasse. Ces allumettes s'allumaient difficilement et donnaient encore plus de projections que les premières allumettes au phosphore blanc et au chlorate de potasse, fabriquées de 1833 à 1835. M. le professeur Stas, de Bruxelles, dans un très-remarquable rapport fait sur l'industrie des allumettes à l'exposition de 1855, travail dans lequel nous avons abondamment puisé, raconte à ce sujet un fait intéressant et caractéristique. Nous le citons textuellement :

« En voulant déterminer la qualité des allumettes exposées par un in-« dustriel à l'appui de l'application du phosphore rouge, nous avons « failli nous aveugler. Une grande quantité d'allumettes contenues dans « une boîte en fer blanc ont fait explosion en fermant la boîte par suite « de l'inflammation d'une d'entre elles qui, probablement, s'était enga-« gée entre le couvercle et la boîte. Quelle que soit la cause qui ait pro-« duit l'inflammation, le couvercle de la boîte s'est soulevé, et une flamme « très-vive, fort longue même nous a léché la face. »

Il est à remarquer que cet accident ne peut se produire dans les conditions où il vient d'être décrit que lorsque le chlorate de potasse entre dans la pâte. Avec la pâte préparée au moyen des sels de plomb, la combustion aurait été très-probablement arrêtée par la fermeture de la boîte, ou, tout au moins, l'explosion n'aurait pas eu lieu. La cause de cette explosion est la même que celle des accidents que nous avons indiqués comme souvent à craindre dans l'usine lors du brassage des pâtes au chlorate de potasse.

Jusqu'ici, ce dernier produit a dû nécessairement entrer dans la composition des pâtes au phosphore amorphe, aussi bien de celles destinées à faire des allumettes à frottoir spécial que de celles qui servent à préparer des allumettes à simple friction. C'est là un inconvénient que nous devons signaler.

L'exposition de 1855 vit paraître les premières allumettes au phosphore amorphe à frottoir spécial. L'invention de ce produit fut revendiquée d'une part par M. Bernard Fürth de Shattenköfen (Autriche), d'autre part par M. Lundstrom de Jœnkœping (Suède) et par MM. Coignet père et fils ses cessionnaires en France, enfin par M. le docteur Bœttger de Francfort-sur-le-Mein. Les réclamations de MM. Fürth et Bœttger se confondirent en une seule, M. Fürth ayant reconnu qu'il tenait ses droits de M. Bœttger. Ce dernier resta donc seul en présence de M. Lundstrom, et, comme le dit M. Stas, il se pourrait fort bien que l'invention eût été faite à Jœnkœping, plusieurs années après les travaux de M. Bœttger, qui, d'ailleurs, avaient été secrets. Les tribunaux français, saisis de la question, ont consacré les droits de M. Bœttger.

Les allumettes au phosphore amorphe à frottoir spécial résolvent en grande partie le problème qu'ont fait naître les dangers dont nous avons parlé plus haut. Plus difficiles à enflammer que les allumettes phosphoriques ordinaires, elles sont d'une innocuité complète, et ne présentent,

par conséquent, aucun danger d'empoisonnement pour les ouvriers qui les fabriquent, aucune crainte de crime dont les allumettes phosphoriques ordinaires sont souvent l'instrument. La pâte qui garnit le bout de l'allumette ne s'enflamme qu'à une température presque égale à celle nécessaire pour la destruction du bois; l'inflammation se fait tranquillement, sans déflagration ni projection, sans danger, par conséquent, pour le consommateur.

Comme nous le disions tout à l'heure c'est en retournant la question travaillée d'abord que l'on est arrivé à cette solution ; il est curieux de reconnaître qu'on est revenu, pour ainsi dire, au point de départ, le briquet oxygéné.

Voici ce que dit à ce sujet M. Stas :

« En examinant de près ce système d'allumettes, on voit qu'il repose
« sur le même principe que celui qui a donné naissance au briquet oxy-
« géné. Il est remarquable qu'après un demi-siècle de recherches, on
« soit ramené au point de départ. En effet, dans le briquet oxygéné,
« comme dans le briquet de sûreté, l'agent qui doit développer le feu
« est séparé de la matière combustible. Dans l'un, c'est l'acide sulfuri-
« que, corps liquide très-altérable à l'air humide; dans l'autre, c'est un
« corps solide, complétement inaltérable dans l'air, *pourvu qu'on ne l'ex-*
« *pose pas à la radiation solaire directe*. L'un repose sur le simple contact,
« l'autre sur la friction. Mais, quoique le principe soit le même, il y a un
« progrès évident, incontestable. »

Les premières allumettes au phosphore amorphe avec frottoir spécial laissaient beaucoup à désirer. L'humidité altérait rapidement le frottoir et ce dernier organe était souvent de dimensions insuffisantes pour enflammer toutes les allumettes renfermées dans la botte.

Depuis 1855, le produit s'est sensiblement amélioré; les allumettes au phosphore amorphe, de quelque provenance qu'elles viennent, prennent facilement feu ; les frottoirs sont plus en rapport avec le nombre d'allumettes contenues dans les boites; ils prennent moins facilement l'humidité. Quelques-unes de ces allumettes, notamment celles de MM. Coignet frères, s'enflamment très-facilement, sans aucune effervescence. Elles sont, en un mot, extrêmement douces.

Voici la composition adoptée par M. Lundstrom :

1° Pâte des allumettes :

Chlorate de potasse	6
Sulfure d'antimoine	2 à 3
Colle	1

2° Pâte du frottoir, enduit préalablement d'une couche de sable étendu à la colle :

Phosphore amorphe	10
Sulfure d'antimoine ou peroxyde de manganèse	8
Colle	3 à 6

On a beaucoup cherché aussi à supprimer complétement le phosphore de la pâte des allumettes. Dans cette direction nous devons citer les tentatives de M. le docteur Poltzer, de MM. Hjerpe, Hochstatter, Luz, Canouil, Vaudaux et Paignon, Rimmer, Günther, et plus récemment (exposition de 1867), les produits de MM. Ferd. Kôrner et Cie de Gothenbourg (Suède).

Nous donnons ci-dessous les compositions adoptées par quelques-uns de ces inventeurs :

Formule de M. Hjerpe.

1° Pâte des allumettes :

Chlorate de potasse	4 à 6
Bichromate de potasse	2
Oxyde de fer ou oxyde de plomb, ou peroxyde de manganèse	2
Colle forte	3

2° Pâte du frottoir :

Sulfure d'antimoine	20
Bichromate de potasse	2 à 4
Oxyde de fer, ou oxyde de plomb ou peroxyde de manganèse	4 à 6
Verre pilé	2
Colle forte	2 à 3

M. le docteur Poltzer indique la composition suivante :

Prendre une dissolution de sulfate de cuivre dont on fait deux parties égales; sursaturer l'une avec de l'ammoniaque, l'autre avec de l'hyposulfite de soude; mélanger et rémuer vivement. Il se dépose une poudre de couleur violette qui est un composé d'acide hyposulfureux avec des oxydes de cuivre, de soude et d'ammoniaque. Ajouter à cette poudre du chlorate de potasse. Le mélange ainsi obtenu s'enflamme par le simple frottement, mais il n'a pas de cohèsion et se détache souvent de l'allumette.

Formules de M. Canouil.

I Allumettes s'enflammant par la simple friction :

Dextrine	10

Chlorate de potasse	75
Bioxyde de plomb	35
Pyrite de fer	35
Eau	quantité suffisante.

L'auteur annonce que ces allumettes prennent feu sur un corps dur quelconque suffisamment résistant, et que ni la percussion, ni le choc, ni une température de 180° ne peuvent enflammer les allumettes; le frottement seul en opère l'inflammation.

II Allumettes ne s'enflammant que sur un frottoir spécial (du même auteur).

1° Pâte des allumettes :

Chlorate de potasse	7
Azotate de plomb	2
Bichromate de potasse	2
Soufre sublimé	1
Gomme arabique	6
Eau	18

2° Pâte du frottoir :

Mâchefer	1
Émeri	1
Chlorate de potasse	6
Minium	1
Colle forte	quantité suffisante.

Composition de M. Hochstatter. Allumettes s'enflammant par le simple frottement sur toutes les surfaces dures.

Chromate de potasse	4
Chlorate de potasse	14
Peroxyde de plomb	9
Sulfure rouge d'antimoine	3.5
Verre pilé	6
Gomme	4
Eau	18

Compositions indiquées par MM. Ferdinand Körner et Ce pour la fabrication des allumettes qu'ils ont envoyées à l'Exposition. — Invention de M. Bagge.—L'auteur donne à ces allumettes le nom d'*allumettes Kali;* il ne nous a pas fait connaître les proportions des différents corps entrant dans la composition de ces pâtes.

1° Pâte des allumettes :

Chlorate de potasse.
Bioxyde de plomb.
Peroxyde de manganèse.
Sulfure d'antimoine.
Chromate de potasse.

2° Pâte du frottoir :

Chromate de potasse.
Bioxyde de plomb.
Sulfure d'antimoine.
Peroxyde de manganèse.
Oxyde de fer.
Verre pulvérisé.

Les diverses tentatives que nous venons d'énoncer sont intéressantes en ce que l'adoption de semblables allumettes permettrait non seulement la suppression de cette fabrication de toutes matières pouvant soit occasionner des incendies dans les ateliers où se fabrique l'allumette, soit faciliter les empoisonnements criminels; mais en outre en ce qu'elle amènerait la suppression presque complète des fabriques de phosphore, puisque la presque totalité de ce produit est employée pour la fabrication des allumettes.

Il se fabrique, en effet, annuellement, environ 225,000 kilogrammes de phosphore, dont 212,500 kilogrammes passent aux fabriques d'allumettes. La masse d'os qu'il faut comme matière première pour obtenir cette quantité de phosphore monte à près de 3 millions de kilogrammes qui pourraient être rendus à l'agriculture et aux diverses usages industriels par la suppression du phosphore dans la pâte des allumettes chimiques.

Quelques-uns des produits dont nous venons de parler datent déjà de quelques années. Aucun d'eux n'a pu, jusqu'ici, réussir à supplanter, même partiellement, l'allumette phosphorique, et nous doutons que les allumettes présentées par MM. Ferd. Körner et C[e] aient un sort plus heureux. La présence, pour ainsi dire inévitable, d'une proportion considérable de chlorate de potasse dans les pâtes employées doit être considérée comme étant pour beaucoup dans le peu de succès de ces allumettes. On est, aujourd'hui, tellement habitué aux allumettes sans chlorate, s'enflammant doucement, sans bruit ni déflagration, sans projection des matières enflammées, que le public accepte très-difficilement des produits qui ne présentent pas ces caractères.

Les allumettes Kali contiennent beaucoup de chlorate de potasse, tant dans la pâte de l'allumette que celle du frottoir; elles prennent cependant feu avec une douceur relative, mais nous devons ajouter que nous

avons pu en enflammer un assez grand nombre sans nous servir du frottoir.

En France surtout, les allumettes à frottoir spécial n'ont obtenu jusqu'ici qu'un assez faible succès. Le consommateur n'a pas voulu s'habituer à l'obligation d'avoir recours à tout instant à la boîte pour enflammer l'allumette, et il préfère les allumettes au phosphore ordinaire avec tous ses inconvénients. En raison de cette résistance, quelques fabricants ont repris la question des allumettes au phosphore amorphe à son point de départ, les allumettes au phosphore amorphe s'enflammant partout.

L'exposition autrichienne présentait des spécimens de produits de cette nature. Ils exigent, pour prendre feu, une surface extrêmement rugueuse et un frottement très-énergique; les allumettes déflagrent et crachent beaucoup. On ne saurait en recommander l'usage.

MM. Coignet frères et C[ie] font aussi aujourd'hui des allumettes de cette nature, qui n'ont pas les inconvénients que nous venons de signaler, mais elles nous ont paru contenir une certaine proportion de phosphore ordinaire.

On ne peut s'empêcher de regretter la résistance du public à l'adoption des allumettes à frottoir spécial; car c'est certainement là, et là seulement, que réside la solution complète de la question : suppression du danger d'empoisonnement; atténuation considérable du danger d'incendie.

L'allumette au phosphore amorphe, prenant feu partout, résout, il est vrai, une partie du problème; mais, comme nous l'avons déjà fait comprendre, c'est, à notre avis, la partie la moins intéressante, puisqu'elle n'atténue en rien les craintes d'incendie. L'allumette à frottoir spécial, au contraire, rend l'inflammation plus difficile, puisqu'il faut forcément deux éléments pour se procurer du feu; le feu n'est plus ainsi à la disposition de tous; il est surtout bien moins à la disposition des enfants; les incendies allumées par eux deviendraient donc bien moins fréquents qu'ils ne le sont aujourd'hui.

Les allumettes au phosphore amorphe, à frottoir spécial, représentent donc à notre avis le progrès le plus réel, et nous pensons que les fabricants devraient chercher à propager et améliorer ce produit, plutôt que de diriger leurs recherches dans le sens qu'ils paraissent maintenant adopter.

On a varié les formes des allumettes au phosphore amorphe de différentes façons. Ainsi MM. Devilliers et Dallemagne ont mis dans le commerce et exposé à Londres, en 1862, des allumettes dites androgynes, à l'une des extrémités desquelles se trouvait la pâte combustible, tandis que la pâte comburante adhérait à l'autre bout. On cassait l'allumette en deux, et on frottait vivement le bout portant la matière combustible contre l'autre pour obtenir l'inflammation.

M. Achleitner, fabricant à Strasbourg, a fabriqué des allumettes qu'il

appelait instantanées. Elles étaient dans une boîte, et il suffisait de tirer brusquement une allumette de la boîte pour qu'elle prît feu. Ce résultat était dû à un artifice du frottoir intérieur, qui se composait d'un papier enduit de phosphore amorphe et roulé en spirale, de telle façon que les allumettes prises entre les spires étaient soumises au frottement dès qu'on les retirait de leur position.

Ni l'un ni l'autre de ces produits n'a obtenu de succès.

Nous venons de donner, aussi complétement que nous avons pu le faire, l'historique des recherches faites pour améliorer la fabrication des allumettes; nous n'avons jamais parlé spécialement, dans tout cet exposé, de la matière employée pour former le corps de l'allumette. Quelle que soit, en effet, cette matière, le bois ou la cire, les compositions adoptées pour les pâtes sont les mêmes. Nous verrons, lorsque nous parlerons de la fabrication proprement dite, les quelques différences qui distinguent les procédés employés dans la confection des allumettes de bois et dans celle des allumettes bougies.

Disons d'abord quelques mots de ces derniers produits :

Si, comme cela est incontestable, tout l'honneur de l'invention et des perfectionnements des allumettes de bois appartient à l'Autriche, la fabrication des allumettes de cire est, au contraire, une industrie toute française.

C'est M. Merckel, fabricant à Paris, qui, le premier, a fait des allumettes de cette nature; c'est de son usine que sont sorties, pendant longtemps, toutes les nouveautés. L'allumette de cire était cependant encore, jusqu'à ces derniers temps, très-peu répandue, et d'une qualité assez médiocre.

M. Roche, ancien ouvrier de M. Merckel, transporta, en 1841, cette industrie à Marseille, et y fonda une usine qui a acquis aujourd'hui une importance considérable.

Marseille eut pour ainsi dire, à partir de ce moment, le monopole de la fabrication des allumettes de cire. Il s'y trouve maintenant cinq usines de ce genre, occupant 1200 à 1500 ouvriers, et livrant au commerce des produits fabriqués ayant une valeur de 2,500,000 francs environ, tant en allumettes bougies qu'en allumettes de bois. Ces dernières sont de beaucoup les moins nombreuses.

Plusieurs autres établissements du même genre existent en France. L'Espagne fabrique aussi des allumettes-bougies. Ces allumettes sont, pour ainsi dire, les seules en usage dans ce pays.

Nous devons dire que si les fabricants de Marseille sont parvenus à vulgariser, comme ils l'ont fait, les allumettes de cire, c'est qu'ils se sont faits en même temps cartonniers et lithographes. Ils sont parvenus, au moyen d'ingénieuses combinaisons, obtenues, pour la plupart, à l'aide du caoutchouc, à faire de petites boîtes propres, commodes, se refermant d'elles-mêmes, et ne risquant pas de s'ouvrir spontanément dans la

poche et d'y laisser répandre des allumettes. Ils ont illustré ces boîtes de chromolithographies, plus souvent licencieuses que comiques, de portraits, de photographies, etc., et ont, en un mot, pour propager leurs produits, sacrifié au goût plus ou moins pur du public.

On doit regretter l'emploi de ces moyens, qui ne font qu'augmenter très-notablement le prix du produit sans compensation sérieuse; mais on ne peut méconnaître qu'ils ont été très-efficaces.

Il nous a paru intéressant de donner quelques chiffres qui sont de nature à donner une idée de l'importance de ces produits accessoires dans les usines dont nous parlons.

La maison Roche et Cie (aujourd'hui Four et Cie) emploie annuellement 120,000 kilogrammes de papiers et cartons, d'après la déclaration des fabricants. L'impression des vignettes nécessite l'emploi de quarante presses.

La maison Caussemille jeune et Cie emploie pour 75,000 francs de cartons et de papiers; c'est à peu près le cinquième de la valeur des matières premières qu'elle met en œuvre; elle a besoin, pour l'impression de ses vignettes, de trois presses typographiques mécaniques et de deux presses lithographiques, qui impriment annuellement 927,800 feuilles, à une, deux, trois et cinq couleurs, servant à la confection de 37,456,700 boîtes. Deux dessinateurs sur pierre et deux graveurs sur bois sont attachés à la maison pour l'exécution des planches.

C'est là, comme on le voit, une des parties importantes de la fabrication; mais, comme nous le disions tout à l'heure, cette dépense vient grever l'allumette d'une somme assez élevée.

Nous allons maintenant exposer très-rapidement les procédés de fabrication.

Trois espèces principales d'allumettes sont en usage : l'allumette soufrée, l'allumette parafinée, toutes deux en bois, et l'allumette de cire.

Le mode de fabrication des allumettes de bois ne varie guère, qu'il s'agisse d'allumettes soufrées ou d'allumettes parafinées. La seule différence réside en ce que, lorsqu'il s'agit de faire des allumettes soufrées, on trempe le bout de l'allumette, après le débitage et la mise en presse, dans une bassine contenant du soufre en fusion, tandis que, quand on veut faire des allumettes parafinées, on commence par chauffer les bouts d'allumettes par contact sur une plaque rouge avant de les tremper dans la matière grasse, de manière à forcer cette dernière de pénétrer le bois.

A cette différence près, voici comment s'opère la fabrication des allumettes de bois.

On commence par débiter le morceau de bois soit à la scie et au couteau ou à la machine, soit au rabot.

Lorsqu'on emploie le couteau, on débite d'abord le bois à la longueur voulue; puis, au moyen d'un couteau assez semblable à ceux qu'on emploie dans les boulangeries et dans les établissements publics pour cou-

per le pain, on refend le bloc de bois successivement dans les deux sens. On obtient ainsi les bois d'allumettes, qui peuvent alors soit être trempés en paquets, soit être mis en presse avant d'opérer le chimicage.

Le trempage en paquet est de beaucoup le plus élémentaire. Pour l'opérer, il arrive souvent qu'on ne finit pas de couper entièrement le bloc de bois. Il reste à la partie inférieure une partie pleine, et la partie supérieure s'évase en forme d'éventail. C'est ce dernier bout qui reçoit d'abord le soufre, puis la pâte sensibilisatrice. Le soufrage se fait, comme nous l'avons dit, en trempant l'extrémité à sensibiliser dans du soufre en fusion. Le chimicage s'opère en trempant le bout soufré dans la pâte préparée, disposée préalablement sur un marbre, à une épaisseur de 1 $^m/_m$ $\frac{1}{2}$ à 2 $^m/_m$ environ.

Ce mode d'opérer a le grave inconvénient que très-souvent les allumettes d'un paquet sont toutes solidaires les unes des autres, retenues ensemble par le soufre et la pâte, et qu'il arrive alors fréquemment que, lorsqu'on veut les séparer, le paquet tout entier prend feu.

Ce mode de fabrication n'est usité en France que pour les grosses allumettes dites allumettes à la livre.

Le fer du rabot que l'on emploie pour débiter les bois d'allumettes a une forme particulière.

« Il consiste en une petite barre quadrangulaire et plate d'acier fondu, « de 14 à 15 centimètres de longueur, sur 1 centimètre de largeur et $\frac{1}{2}$ cen« timètre d'épaisseur. Cette barre est un peu recourbée à l'une de ses ex« trémités, qu'on use à la lime; on y ménage la place de trois trous cylin« driques, qu'on perce avec un foret à archet, et qui deviennent, par le « travail de la lime, les emporte-pièces qui doivent pénétrer dans le bois « et le débiter en petites baguettes cylindriques. Ce foret est monté dans « un bois de rabot ordinaire[1]. »

Quelques rabots portent cinq trous, et peuvent, par suite, débiter cinq baguettes à chaque coup de l'outil.

Le bois est en bûches de 70 à 80 centimètres de longueur. Le coup de rabot se donne sur toute la longueur de la pièce de bois, et débite, par conséquent, trois ou cinq baguettes de 70 à 80 $^c/_m$ chacune. Les baguettes sont ensuite assemblées en bottes et liées avec des ficelles convenablement espacées, dont chacune doit se trouver, après le découpage, au centre d'un paquet de bois d'allumettes; puis on opère le découpage soit au moyen d'un couteau assez semblable à celui dont nous avons parlé plus haut, soit au moyen de la scie circulaire.

Toute cette opération se fait avec une extrême rapidité. Un ouvrier peut découper dans une journée un nombre de baguettes correspondant

1. Rapport de M. Eug. Peligot à la Chambre de commerce de Paris, 1846.

à près de 2,000,000 d'allumettes. En Autriche, une grande partie de ce travail se fait en forêt.

La machine employée en France pour la fabrication des allumettes n'est autre chose que le rabot autrichien, augmenté et rendu mécanique.

Qu'on se figure un poussoir à mouvement horizontal alternatif; ce poussoir est essentiellement composé d'un fer de rabot en acier, percé de trous. Le bois, débité d'abord à la longueur au moyen de la scie circulaire, est placé sur une glissière devant ce poussoir, et appuyé contre une pièce fixe. La lame du rabot, à chaque mouvement en avant, débite un nombre de bois d'allumettes égal à celui des trous du rabot. L'ouvrière qui dessert la machine n'a autre chose à faire qu'à maintenir le morceau de bois et à l'appuyer constamment contre la glissière. Une seule machine débite journellement une quantité énorme d'allumettes.

Une fois la baguette débitée et mise de longueur, on procède à la mise en presses.

Cette opération s'exécutait toujours autrefois et s'exécute souvent encore à la main. Voici, dans ce cas, comment elle s'opère :

« Une ouvrière prend dans sa main un certain nombre d'allumettes, et « elle les étend rapidement sur une planchette à crans, disposée de telle « sorte que chaque cran, creusé un peu en biais, retient une allumette; « elle prend aussitôt de son autre main une autre planchette semblable, « et elle en recouvre la première, puis elle étend de nouveau ces allumettes. « Chaque planchette présente à son revers deux bandelettes de flanelle « collées dans le sens de sa longueur, et destinées à maintenir les allu- « mettes qu'elle recouvre; ces planchettes, ainsi garnies, se superposent « et se fixent les unes sur les autres en remplissant l'espace laissé entre « deux baguettes rondes et verticales, taraudées à leurs sommets, qui re- « çoivent les planchettes par les deux trous qu'on a ménagés à leurs extré- « mités. Lorsque le châssis est rempli par vingt à vingt-cinq planchettes « superposées, on les fixe toutes au moyen d'une dernière planchette « pleine qu'on assujettit par des vis[1]. » On procède ensuite au soufrage et au chimicage, comme nous l'avons dit déjà.

Le procédé de mise en presse que nous venons de décrire a été rendu mécanique par les machines Walch.

La presse de ces machines est desservie par une espèce de trémie qui contient les allumettes. Au moyen d'une pédale, on fait tomber un certain nombre d'allumettes qui se distribuent avec une certaine régularité sur la planchette; on les égalise rapidement avec la main, puis on pose la planchette suivante. Quand la presse est complétement garnie, on fixe, comme dans l'opération à la main, une dernière planchette

1. Rapport de M. Eug. Peligot.

pleine qu'on assujettit avec des vis. Un enfant dessert facilement une de ces machines.

Le soufrage et le chimicage s'opèrent toujours de la même façon.

Ces deux opérations une fois faites, on procède au dégarnissage des presses et à la mise en paquets.

La fabrication des allumettes bougies diffère bien peu de celle des allumettes de bois.

On commence par garnir les mèches de cire ou de stéarine. Ce travail se fait à la main. On enroule les mèches stéarinées sur des bobines que l'on place sur une espèce d'ourdissoir. Les bobines sont en nombre égal à celui des allumettes qui doivent être distribuées sur la planchette de la presse, et chaque mèche, au sortir de la bobine, passe dans une espèce de peigne, d'où elle se rend à la presse. La machine est munie d'un couteau, et, à chaque tour de roue, le couteau coupe une série d'allumettes à la longueur voulue; une nouvelle planchette vient s'appuyer sur la précédente et reçoit à son tour les mèches. Le travail se fait ainsi d'une manière continue et entièrement mécanique. Quand la presse est complétement garnie, on opère le chimicage comme pour les allumettes de bois.

La fabrication des allumettes est, comme on le voit, des plus simples. Les opérations qu'elle comporte n'exigent aucune force de la part de l'ouvrier. Aussi, dans la majeure partie des fabriques presque toutes les opérations sont exécutées par des femmes et des enfants. Le travail se fait généralement au marchandage.

Les allumettes se vendent habituellement soit au poids, soit à la grosse de 144 boîtes. On est étonné, quand on connaît les prix de revient, de voir la surcharge considérable dont leur valeur est grevée du fait des intermédiaires qui s'interposent entre le fabricant et le consommateur. Ce qui est vendu par le fabricant 2f,95 la grosse de boîtes, remise déduite, est payé par le public à raison de cinq centimes la boîte, soit 7f,20 la grosse. C'est près de deux fois et demie la valeur initiale. On peut dire sans crainte d'erreurs que le public paye les allumettes au moins le double de ce que les vend le fabricant.

L'Exposition de 1867 a reçu des produits de la majeure partie des pays de l'Europe. Nous en donnons ci-dessous la nomenclature :

France	6	exposants
Belgique	4	—
Prusse	1	—
Hesse	1	—
Autriche	5	—
Espagne	3	—
Danemark	1	—
A reporter	21	

Report	21	
Suède	2	—
Norwège	2	—
Italie	5	—
Angleterre	1	—
Total	31	exposants.

Bien que les principales fabriques d'Autriche n'aient pas exposé, c'est cependant encore de ce pays que nous sont venus les produits de la plus importante usine représentée à l'Exposition.

Les produits autrichiens qui ont passé sous nos yeux sont de bonne qualité. Les allumettes sont toujours des allumettes de bois à base de phosphore ordinaire, à l'exception des allumettes au phosphore amorphe s'allumant partout, dont nous avons déjà parlé. Toutes les allumettes sont rondes ou cannelées, débitées au rabot.

Les fabricants autrichiens ont exposé en outre de l'amadou et une grande variété de produits destinés à allumer les cigares à l'air.

La Suède et la Norwège ont envoyé des allumettes de bois à base de phosphore blanc et à base de phosphore amorphe d'excellente qualité. Le bois est débité par l'ancien système de couteau.

La Belgique a exposé des allumettes de bois et des allumettes-bougies. Le bois est débité au couteau ; les produits sont bons.

L'Italie a soumis à l'appréciation du jury des allumettes de bois et surtout des allumettes-bougies. Nous n'avons entre les mains que des allumettes de cire, qui sont d'une qualité suffisante, inférieure cependant celle des produits similaires exposés par les fabriques de Marseille.

L'Espagne n'a exposé que des allumettes de cire. La composition chimique est bonne ; mais la bougie est noire et très-fuligineuse. Elle contient évidemment de la résine.

En Italie et en Espagne on emploie de la cire pour la confection de ces produits. En France on ne se sert que de stéarine.

Les allumettes de bois exposées par les fabricants français sont de meilleure qualité que celles que nous employons le plus généralement. Les allumettes de cire de fabrication française sont certainement les meilleures allumettes bougies que nous ayons eues à examiner.

En résumé, nous avons cherché à faire comprendre par quelques chiffres l'importance de l'industrie dont nous venons de nous occuper. Nous avons vu que, fondée en Autriche, la fabrication des allumettes chimiques en bois a reçu dans ce pays tous les perfectionnements qu'elle comporte. Nous avons dit que, par le dernier de ces perfectionnements, la fabrication des allumettes au phosphore amorphe avec frottoir spécial, on était revenu au principe de l'ancien briquet oxygéné : la séparation du corps comburant et du corps combustible. Nous avons cherché à faire

comprendre dans quelle direction ont été faites les principales recherches pour perfectionner l'allumette et pour atténuer autant que possible les inconvénients qu'elle présente. Nous avons enfin décrit succinctement les procédés de fabrication le plus généralement employés.

Le travail que nous présentons résume donc, aussi complétement que nous le permettaient les documents dont nous disposons, l'historique de l'industrie des allumettes, en même temps qu'il indique l'état actuel de cette industrie, dont l'importance est bien plus considérable qu'on ne le pense généralement. Peut-être quelques personnes seront-elles, comme nous l'avons été nous-même, étonnées de trouver une industrie aussi complète et aussi importante pour la fabrication d'un produit de si minime valeur, et peut-être à ce point de vue, la monographie que nous soumettons à la société n'est-elle pas sans intérêt.

NOTE

SUR LA

CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION

DES CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

PAR M. LOUIS **RICHARD**.

Le discours que notre éminent Président, M. Flachat, a prononcé en quittant le fauteuil, et celui que nous a adressé son digne successeur M. Love, vous ont tous deux entretenus des chemins de fer d'intérêt local. Les quelques aperçus qu'ils vous ont présentés étant nécessairement très-restreints, je vous demanderai la permission de m'étendre un peu plus sur ce sujet si intéressant, de vous exposer en quelques mots mes idées, et de les soumettre à votre jugement.

L'attention publique est vivement excitée, depuis la loi du 12 juillet 1865, par la question de l'établissement des chemins de fer d'intérêt local; c'est que, d'abord, ces chemins sont aujourd'hui, pour l'économie des transports, la conséquence nécessaire des grandes lignes, comme les chemins vicinaux de grande et petite communication ont été la conséquence nécessaire de l'extension des routes impériales et départementales.

C'est qu'ensuite les circonstances financières sont favorables pour leur exécution, car la construction des chemins vicinaux ordinaires de toute classe à établir au moyen des ressources départementales et communales, en exécution de la loi du 21 mai 1836, est bien près de son achèvement; dès lors, les ressources créées pour cette construction vont être en grande partie disponibles, et pourraient être maintenues et immédiatement employées à la vicinalité des chemins de fer.

Les Conseils généraux se sont donc trouvés en présence d'une question à résoudre, qui avait tous les caractères de l'urgence, par suite des réclamations de l'agriculture et de l'industrie; mais, pris au dépourvu, ils n'étaient que peu ou point préparés à l'examiner, et la plupart ont reculé

devant l'obligation de choisir dans un court espace de temps entre des opinions toutes faites et souvent contradictoires, entre des projets étudiés par les ingénieurs du département, qui ne donnaient qu'imparfaite satisfaction aux besoins des populations.

Ajoutez à ces motifs très-légitimes d'hésitation la préoccupation sérieuse du meilleur emploi à faire des fonds du département dans les subventions à accorder à ces entreprises industrielles, et vous comprendrez sans peine toutes les divergences d'opinions qui se sont manifestées et ont arrêté le premier élan en faveur des chemins de fer d'intérêt local.

J'ai été témoin et acteur moi-même dans cette lutte de craintes et d'espérances en ce qui intéresse le département de Seine-et-Marne, dans lequel j'ai étudié un réseau de cinq petites lignes différentes composant 150 kilomètres.

Déjà mon projet, accepté en principe dans toutes ses parties, a subi les épreuves des sessions de 1866 et de 1867, et bien que j'espère une solution définitive et favorable cette année, je ne sais encore ce que me réserve la session de 1868.

Or il existe de même, dans presque tous les départements de France, des chemins de fer à construire semblables à ceux de Seine-et-Marne, qui ne seront jamais entrepris par les grandes compagnies, et qui ont cependant une raison d'être, parce qu'ils répondent à des besoins sérieux.

Les départements et les intérêts locaux sont tout prêts à les subventionner, mais la lumière n'est pas faite sur les moyens d'exécution, et, souvent trompés par des propositions de toute nature, ils hésitent.

Il m'a donc paru utile d'exposer à notre Société, où je pourrai être éclairé si je me suis trompé, les principes qui m'ont guidé dans la rédaction de mon projet.

Nos présidents nous ont dit tous deux que la plus stricte économie devait être la règle de la construction et de l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local; personne ne le contestera, si l'on songe que dans la plupart des cas on aura à entreprendre des chemins de fer dont le revenu kilométrique probable sera très-bas, et quand je dis très-bas, je ne comprends cependant pas au-dessous de 8 à 10,000 francs par kilomètre.

Mais dans quelle limite d'économie faut-il se tenir? là est toute la question sans cesse posée; en d'autres termes, *étant données l'espèce et la nature des chemins à construire suivant les besoins à desservir et le revenu probable, déterminer le chiffre probable de la dépense kilométrique d'exécution*, telle me paraît être la réponse à faire publiquement et franchement pour dissiper les incertitudes et les illusions.

On a beaucoup dit et même écrit que les chemins de fer d'intérêt local devaient se faire pour une dépense très-minime, variant de 60 à 70,000 fr.

par kilomètre, et descendant même au-dessous de ces chiffres; on a même cité quelques exemples qui paraissaient donner raison à ces prétentions; je déclare que, pour mon compte, je n'ai pu m'associer à ces illusions, et que je crois qu'un chemin de fer d'intérêt local devant être établi, comme un plus grand, dans de bonnes conditions de construction, d'exploitation et d'entretien, devant offrir les mêmes sécurités et les mêmes garanties aux intérêts à desservir, tant pour les voyageurs que pour les marchandises, je crois, dis-je, qu'un tel chemin de fer ne peut, à moins de circonstances exceptionnellement favorables, coûter moins de 100 à 110,000 fr. par kilomètre.

Je m'inscris donc contre le bon marché préconisé comme système, et voici quelles sont mes raisons. Tout dans un chemin de fer, quel qu'il soit, dépend de l'étude du tracé et du profil en long.

Le chemin de fer d'intérêt local sera donc dans les meilleures conditions économiques, si son tracé et son profil en long ont été étudiés de manière à éviter les terrassements et les ouvrages d'art. On y arrivera en épousant les contours du terrain par des courbes de rayons réduits, et en suivant le plus près possible les dénivellations mêmes du sol.

On pourra en effet adopter des courbes de petits rayons, la vitesse des trains ne devant être que de 20 à 25 kilomètres à l'heure; mais s'ensuit-il que l'on doive abuser des rayons de 150 mètres et même de 100 mètres? je ne le pense pas, car il y aurait dans un semblable tracé des causes permanentes de difficultés d'exploitation, d'usure du matériel fixe et roulant qui feraient brèche constante aux produits du chemin.

On n'arrivera même à pouvoir adopter ces rayons de courbes qu'en transformant le matériel roulant et les locomotives de manière à ce qu'elles puissent s'inscrire dans de si petites courbes. Nous avons vu dans ce sens à l'Exposition des tentatives très-intéressantes, notamment la machine à articulation et à adhérence partielle ou totale de M. J,-J. Meyer de Mulhouse; mais si le progrès est dans les dispositions techniques, il ne peut être dans les prix, qui ne peuvent s'abaisser qu'avec la puissance des machines, puissance fixée d'avance par le résultat à produire.

Quant au profil en long, je ne pense pas non plus qu'on doive imprudemment le dessiner avec des rampes et pentes de très-forte inclinaison. Il faut que l'ingénieur se rende bien compte des dépenses d'exécution, mais aussi des dépenses d'exploitation que peut supporter le revenu probable de la ligne à construire. Et il ne faut pas qu'il oublie que si l'on diminue les frais de premier établissement par un profil en long tourmenté, le matériel de traction devra être plus lourd, par suite les rails plus lourds, et qu'en fin de compte l'exploitation en payera les frais tous les jours, attendu qu'en rampe, la traction augmente de 1 kilog. par tonne remorquée et par millimètre d'inclinaison. On voit donc qu'on pourrait arriver rapidement à des dépenses qui absorberaient le revenu.

Il me semble que l'attention de l'ingénieur, dans l'étude d'un chemin de fer d'intérêt local, doit porter surtout sur la suppression aussi radicale que possible des ouvrages d'art, de manière à ne conserver que ceux nécessaires à la traversée des cours d'eau ou à l'écoulement des eaux de surface, et à maintenir les traversées de routes et chemins au niveau existant.

Il y aura dans cette suppression d'ouvrages d'art, des maisons de garde de passages à niveau, des barrières fermées, des clôtures, des causes sérieuses d'économie, en même temps que des facilités de parcours qui seront vivement appréciées par les populations.

Étant bien entendu maintenant que le profil en long est arrêté dans les prévisions les plus sages et les plus véritablement utiles, il reste à se préoccuper de la grave question du choix du matériel fixe qui charge lourdement le compte des dépenses de premier établissement.

Sur ce point encore, je ne suis pas d'accord avec les promoteurs des petites voies et du petit matériel roulant.

A mon avis, de pareils éléments d'exploitation ne peuvent convenir qu'à un trafic très-réduit et ne seront bonnes qu'à desservir des intérêts particuliers isolés, n'ayant pas d'espoir d'extension, mais suffiront difficilement pour des chemins de transit aboutissant aux grandes lignes. Dans ces éléments réduits, une carrière, une mine, une usine, pourront trouver des moyens de transport beaucoup plus avantageux que ceux de la route de terre; mais pour un chemin de fer d'intérêt local, devant donner satisfaction à l'esprit et à la lettre même de la loi votée le 12 juillet 1865 par le Corps législatif, qui dit : *les chemins de fer d'intérêt local sont destinés au transport des voyageurs et des marchandises de toute espèce*, il ne faut pas compter, en général, se servir des petites voies.

Je considère que les chemins à créer, qui doivent remplir le but de la loi, et ils sont très-nombreux dans les départements, qui doivent avoir le concours financier des départements, de l'État et des intéressés, doivent être capables de supporter la dépense nécessaire pour atteindre le but, ou sans cela il vaut mieux ne pas les faire et se contenter de petits moyens qui seront au vrai chemin de fer d'intérêt local comme le chemin rural est au chemin vicinal, et qui peuvent néanmoins avantageusement remplacer la voie de terre, puisque la différence entre les prix de transport sur rails et sur route varie de 0,12 à 0,40 par kilomètre.

J'estime qu'il est de première nécessité pour les chemins de fer d'intérêt local, qui méritent ce nom, de conserver l'unité du réseau en conservant la voie de $1^m,50$ de largeur, de manière à pouvoir recevoir le matériel roulant de toutes les lignes françaises auxquelles les chemins à créer doivent forcément aboutir.

Les conséquences inévitables de l'adoption de la voie étroite seraient en effet funestes au point de vue du service des marchandises. On voit de

suite, sans entrer ici dans des détails très-circonstanciés, qu'il en résulterait :

Des dépenses considérables provenant de frais de déchargement et de manutention aux gares de bifurcation, frais qui ne s'élèveraient pas à moins de 0f,30 par tonne transbordée, et non pas à 0f,17 comme on l'a écrit à propos du petit chemin de Mondalazac à la Salles-la-Source qui ne transporte que du minerai ; ce prix de 0f,17 ne pourrait s'appliquer au transbordement des marchandises de toute nature que vont avoir à transporter les chemins de fer d'intérêt local. Je m'en rapporte, pour ces estimations, à notre collègue, M. Alfred Férot, ancien chef d'exploitation de la Compagnie de l'Ouest, dont la compétence en pareille matière est incontestée, et qui a publié sur ce sujet une notice très-bonne à consulter. — (*Les Chemins de fer en* 1865, chez Dentu, éditeur, Palais-Royal.)

Une seconde cause de pertes serait le payement des indemnités nombreuses qui seraient réclamées pour avaries provenant des transbordements ; les matières encombrantes elles-mêmes sont soumises à ces causes de dépréciations ; ainsi la houille, les ardoises, les tuiles, les poteries, les fruits, les légumes perdent de leur valeur quand on les remue souvent ; que serait-ce pour les marchandises plus délicates ?

En résumé, toute bifurcation est très-coûteuse s'il faut faire un transbordement de marchandises ; elle le sera donc pour le chemin d'intérêt local comme pour les grandes lignes, car la marchandise n'ayant que quelques kilomètres à faire coûtera aussi cher à transborder que si elle en avait un très-grand nombre à parcourir.

De toutes ces difficultés et de ces causes de perte, il arriverait très-certainement que les marchandises se détourneraient du chemin de fer pour revenir à la voie de terre.

Dès lors, je ne pense pas qu'on puisse se résoudre à construire un chemin de fer d'intérêt local, ayant un trafic de quelque valeur en voyageurs et marchandises, avec une voie étroite.

Mais faut-il donc adopter aussi, avec la voie de 1m.50 de largeur, le rail pesant de 35 à 36 kilogrammes le mètre courant, comme sur les grandes lignes ?

Je ne le pense pas non plus, et voici pourquoi : c'est que si je suis convaincu qu'il est absolument nécessaire de ne pas rompre l'unité du réseau comme largeur de voie, afin que tous les wagons puissent passer d'une ligne sur une autre ; je ne juge pas du tout utile que les lourdes machines des grandes lignes viennent sur les chemins de fer d'intérêt local. C'est parce que je considère, au contraire, qu'il est tout à fait nécessaire que les grandes compagnies ne fassent ni la traction ni l'exploitation du chemin de fer d'intérêt local (et je m'expliquerai plus tard sur ce point), que je ne proposerai pas pour ces chemins des rails lourds comme ceux des grandes lignes. Le poids de ces rails doit en effet varier avec celui des trains.

Or les wagons de 10 tonnes des grandes lignes, tout chargés, pèsent 15 tonnes; leurs machines pèsent jusqu'à 35 tonnes, et chaque essieu porte de 11 à 12 tonnes; entre ces chiffres, il y a de la marge pour trouver des machines et un rail rationnel suivant le trafic à desservir.

C'est ainsi que j'ai été conduit, pour les 150 kilomètres du réseau de Marne, dont j'ai parlé au commencement de cette note, à adopter, en raison du trafic probable, des machines pesant vides 18.900 kilogrammes et 24.000 kilogrammes pleines, c'est-à-dire chaudière et soutes garnies. Ces machines devront être portées sur 3 essieux chargés de 8 tonnes chacun, avec des roues égales de 1 mètre de diamètre au roulement.

Les données principales de ces machines, pour des vitesses devant varier de 25 à 30 kilomètres à l'heure, sont les suivantes :

Surface de chauffe totale	$64^{mq}.656$
Diamètre de la chaudière.	$1^{m}.200$
Diamètre des cylindres	0 .380
Course des pistons.	0 .400
Largeur de grille.	0 .800
Longueur de grille.	1 .000
Adhérence	4000 kilogr.
Poids adhérent par mètre carré de surface de chauffe.	360 kilogr.
Consommation présumée de combustible par kilomètre.	5 à 6 kilogr.

Ces machines seront capables de remorquer :

Sur plan horizontal.	1063 tonnes.
En palier et courbe de 150 mètres.	490
En ligne droite et rampe de $0^{m}.020$ par mèt.	$141^{t}.80$
En courbe de 150 mètres de rayon, et rampe de $0^{m}.02$ par mètre.	$117^{t}.70$

J'ai obtenu ces résultats en me basant sur les expériences de MM. Lechatelier et Gouin, d'après lesquelles toutes les résistances reviennent, pour ces vitesses de 30 kilomètres à l'heure, à $3^{k}.60$ pour les wagons, et $7^{k}.20$ pour la machine, et en comptant à 4 kilogrammes la résistance due à une courbe de 150 mètres de rayon.

Ces coefficients sont d'ailleurs à peu près d'accord avec ceux établis dans leur remarquable Mémoire par nos camarades MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné.

Pour chacun des cas précités, j'ai obtenu le poids P, que pourrait remorquer la machine de 24 tonnes, en supposant l'adhérence de $\frac{1}{6}$, par les formules suivantes :

En palier et ligne droite :

$$P = \frac{\frac{24000}{6} - 7.20 \times 24}{3.60} = 1063 \text{ tonnes.}$$

En palier et courbe de 150 mètres de rayon :

$$P = \frac{\frac{24000}{6} - (7.20 + 4)\,24}{3.60} = 490 \text{ tonnes.}$$

En rampe de $0^m.02$ et ligne droite :

$$P = \frac{\frac{24000}{6} - (20 + 7.20)\,24}{3.60 + 20} = 141^t.80.$$

En rampe de $0^m.02$ et courbe de 150 mètres de rayon :

$$P = \frac{\frac{24000}{6} - (3.60 + 20 + 4)\,24}{7.20 + 20 + 4} = 117^t.70.$$

Ces machines devront être du système dit machines-tender, portant leur eau et leur combustible, ce qui diminue le poids métallique, et par suite le prix d'acquisition.

Depuis que j'ai fait cette Étude est venue l'Exposition, et c'est alors que j'ai connu la machine J.-J. Meyer, qui me paraît appelée à beaucoup d'avenir.

En effet, le problème dont les ystème Meyer paraît offrir la solution est celui-ci :

Établir une locomotive d'une puissance variable à volonté, ayant le poids le plus faible possible par unité de surface de chauffe, supportée par un nombre d'essieux assez grand pour que la charge ne dépasse pas un minimum aussi peu élevé que l'exigera le poids du rail, utilisant tout son poids pour l'adhérence, et articulée de manière à permettre la circulation facile dans les courbes de 150 mètres de rayon.

A ce sujet, j'émettrai le désir d'avoir l'avis de nos habiles camarades MM. Forquenot, Petiet, Vuillemin, Mayer, si capables de nous éclairer sur la machine de M. J.-J. Meyer.

Connaissant à présent le poids des machines locomotives, quel poids devais-je donner aux rails ?

Or, en prenant le poids par mètre courant du rail proportionnel aux poids portés sur les roues, j'aurai le poids cherché du rail $x = \frac{36 \times 8}{11.500}$ $= 25$ kilogrammes par mètre courant, 36 tonnes étant le poids de la ma-

chine des grandes lignes, 8 tonnes le poids dont sera chargé chaque essieu de la machine projetée, et 11ᵗ.500 le poids moyen dont est chargé chaque essieu des locomotives des grandes lignes.

Ce poids de 25 kilogrammes par mètre courant étant admis, j'ai cherché la résistance du rail en supposant l'emploi du rail Vignole, éclissé aux joints, fixé aux traverses par des tire-fonds.

J'ai calculé cette résistance pour une longueur de 6 mètres, l'espacement d'axe en axe des traverses étant de 0.87 entre les intermédiaires, et de 0,825 entre la traverse de joint et la traverse intermédiaire suivante.

D'après ces données, le rail étant éclissé, je l'ai assimilé à un solide encastré à ses deux extrémités, et chargé d'un poids uniformément réparti, et après l'avoir dessiné, d'après le calcul de chacune de ses parties, j'ai cherché à combien il travaillait par millimètre carré de section.

J'ai trouvé R = 4ᵏ.124, ce qui serait évidemment dans d'excellentes conditions de travail.

Mais le rail ne travaille pas en réalité comme un solide encastré à ses deux extrémités. Il se compose de fait de tronçons appuyés sur les traverses; on doit donc, pour plus de rigueur dans le calcul, le supposer un solide reposant sur deux appuis écartés de 0.72 et chargé d'un poids en son milieu; dans cette hypothèse, j'ai trouvé que le rail travaillerait à 8ᵏ.250 par millimètre carré de section.

La vérité est entre ces deux hypothèses; car l'éclisse, la cohésion des tronçons entre eux sont autant de forces résistantes, et l'on peut dire que l'état de travail du rail sera d'environ 6 kilomètres par millimètre carré de section, chiffre adopté réglementairement, mais qu'on peut dépasser et porter jusqu'à 8 k. sans craintes.

Je connais d'assez nombreux exemples de poutres de ponts travaillant dans ces conditions, — et qui n'ont jamais faibli.

J'ajouterai d'ailleurs que si un chemin d'intérêt local prenait une importance telle qu'il dût recevoir les grosses machines locomotives, il serait toujours facile de renforcer la voie primitive en rapprochant les points d'appui du rail par l'insertion d'une traverse par longueur de rail.

J'ai déterminé par des considérations analogues les autres parties de la voie, en sorte qu'elle se composera de :

Rail, le mètre courant	25 kilogr.
Éclisse, la pièce.	2ᵏ.660
Boulon d'éclisse.	0ᵏ.230
Tire-fond pour fixer le rail à la traverse . .	0ᵏ.180
Traverse intermédiaire, cube.	0ᵐᶜ.0468
— de joint, cube	0ᵐᶜ.0624

Établie dans ces conditions, j'ai calculé que la voie coûterait, pour

fourniture du matériel seulement, 17 fr. 508 le mètre courant, soit 17508 fr. le kilomètre, savoir pour une longueur de 6 mètres :

12^{m}.00 de rails à 25 k. le ^{mc}	300 k. à 0^{f}.20 =	60 fr. 00
4 Éclisses.	10^{k}.640 à 0 .25 =	2 fr. 66
8 Boulons d'éclisses. . .	2^{k}.240 à 0 .39 =	0 fr. 87
28 tire-fonds.	5^{k}.040 à 0 .40 =	2 fr. 02
6 traverses préparées à la créosote 2.60 × 0.15 × 0.12	à 5.50 =	33 fr. 00
1 traverse préparée à la créosote 2.60 × 0.20 × 0.12		6 fr. 50
		105 fr. 05

$$\text{Soit } \frac{105^{f}.05}{6} = 17^{f}.508 \text{ par mètre courant de voie.}$$

A ce prix devront s'ajouter pour exécution de la ligne le prix du transport et pose de la voie, soit 3 fr. 00, et le ballastage dont le prix est très-variable suivant les localités et suivant les distances de transport des carrières au lieu d'emploi; on peut compter le mètre cube de ballast en moyenne à 5 fr., soit 7 fr. 50 par mètre courant de voie, et l'on arrivera ainsi à 25 fr. 008 le mètre courant ou 25,008 fr. pour le kilomètre de voie dans les conditions ci-dessus. En Seine-et-Marne, j'ai dû sur certaines lignes compter ce ballast en pierre cassée jusqu'à 8 fr. 45 le mètre cube, ce qui a porté la dépense de la voie jusqu'à 33,760 fr. par kilomètre. C'est donc en moyenne sur une dépense de 30,000 fr. par kilomètre qu'il faudra compter pour l'établissement de la voie principale.

A ces dépenses de la voie principale il faut ajouter celles qui sont nécessaires pour le service des stations ; et j'estime que ces accessoires de la voie doivent encore être prévus dans une mesure assez large. Car si l'on veut avoir une exploitation peu coûteuse, il faut que les stations qui devront suffire à un trafic développé soient munies de tous les appareils de manutention qui peuvent économiser la main-d'œuvre de chargement et de déchargement; une économie faite sur les engins utiles d'exploitation serait un mécompte qui se traduirait par des dépenses journalières considérables. C'est pourquoi je m'élève encore contre la doctrine qui conseille de faire des stations élémentaires pour ainsi dire, parce qu'elles seraient complétement inutiles. Et je n'estime pas que les voies de garage et le matériel fixe accessoire des stations, signaux, plaques, changements de voies, bascules, grues de changement, alimentation des machines, puissent être comptés moins de 6,000 francs par kilomètre. La dépense de la voie et ses accessoires se trouverait donc de ce fait portée à 36,000 fr. par kilomètre. Je ne crois pas qu'il soit prudent de prévoir au-dessous de ce chiffre. Dans son rapport sur mon projet de Seine-et-Marne, qui embrasse des lignes d'ordre différent comme importance, les estimations de M. l'ingénieur en chef du département pour la voie et ses accessoires

sont en moyenne de 43,000 fr., et les miennes atteignent 50,000 fr. Nous nous trouvons donc ici en désaccord avec les chiffres présentés par notre collègue M. Debauge, à propos de son chemin de fer de Fougères à Vitré, dans lequel la dépense de la voie et de ses accessoires ne ressort qu'à 34,817 fr. 67 par kilomètre.

Mais cette différence s'expliquera, si, d'abord, on considère (et à cet égard j'interrogerai M. Debauge pour qu'il me rectifie si l'on m'a mal renseigné), si l'on considère, dis-je, que la ligne était loin d'être terminée lorsque les comptes ont été faits, que le ballast était loin d'être complet, que les stations étaient insuffisamment pourvues de matériel fixe et d'appareils accessoires, que le mètre cube de ballast payé 2 fr. 73, mis en place reviendra en beaucoup d'endroits à 5 ou 6 fr. au moins, que les traverses que M. Debauge a comptées 4 fr. 50 coûteront presque partout de 5 fr. 50 à 6 fr. 50, et qu'enfin il y a dans les départements une différence considérable dans les prix de main-d'œuvre.

En outre, il faut ne pas oublier que le trafic sur les chemins d'intérêt local ayant l'importance de ceux de Seine-et-Marne, devant être plus considérable que sur le chemin de Fougères à Vitré, il faudra prévoir des aménagements plus importants. La contradiction entre M. Debauge et moi est donc plus apparente que réelle, et je me crois fondé à répéter qu'il faut compter sur une dépense de 36,000 francs par kilomètre au minimum pour la voie et les accessoires.

Maintenant pour les bâtiments de stations et constructions diverses, je crois que tous les ingénieurs sont d'accord que ces constructions devront être d'une simplicité extrême; qu'elles ne seront en général que de simples rez-de-chaussée à salle commune, de plus ou moins grande dimension selon l'importance de la station, souvent de simples abris en bois, et je crois même que les stations, dans certains cas, devront se réduire à des haltes pour prendre les voyageurs au passage. J'ai donc estimé que, dans ces conditions, les dépenses de construction et du petit mobilier nécessaire, s'élevaient à 5,000 fr. par kilomètre.

Pour le matériel roulant, on ne peut par avance en chiffrer la dépense kilométrique, car cette dépense est très-variable avec le trafic de chaque ligne; mais comme base, on admet généralement en France, et aussi en Belgique, que la dépense kilométrique du matériel roulant doit se rapprocher du produit brut kilométrique de la ligne à desservir; ce qui équivaudrait à dire que pour les chemins de fer d'intérêt local, dont les produits bruts kilométriques seront approchant 10,000 fr., la dépense kilométrique de matériel roulant sera environ de 10,000 fr. Je crois que ce chiffre peut être adopté comme une moyenne sage, bien qu'encore sur le chemin de Fougères à Vitré notre collègue, M. Debauge, n'ait fait pour ce chef qu'une dépense de 5,000 fr., y compris le petit outillage. Mais il faut observer, avec M. Debauge lui-même, que le petit nombre de wagons à marchandises commandé par lui, 18, je crois, pour 37 kilo-

mètres et 3 trains par jour dans chaque sens, tient à ce que le chemin de Fougères ne doit être qu'un correspondant du chemin de l'Ouest, qui lui remet à Vitré les wagons chargés en destination de Fougères, et en reçoit ensuite les mêmes wagons rechargés pour les ramener en delà de Vitré.

J'admettrai les prévisions réduites comme très-bonnes pour une ligne de petit trafic et de petit parcours, sur laquelle les trains sont en petit nombre et peuvent se faire en navette; mais cependant dans les chemins de fer de la Vendée dont je me suis occupé, sur la ligne des Sables-d'Olonnes à Napoléon-Vendée dont la longueur est également de 37 kilomètres, dont le trafic est aussi restreint que peut l'être celui d'un assez mauvais chemin de fer d'intérêt local, et dont le service se fait en navette, la Compagnie n'a pu établir son matériel roulant à moins de 12,000 fr. par kilomètre, à cause des correspondances avec la Compagnie d'Orléans à Napoléon-Vendée. Nous avions commencé par demander en location à la Compagnie d'Orléans les wagons de marchandises dont nous avions besoin, et comme cette Compagnie nous les louait cher, et n'en avait pas toujours au moment où nous en avions besoin, il a fallu que la Compagnie de la Vendée commandât des wagons à nouveau. Elle fait son service aujourd'hui avec 4 machines locomotives, 4 voitures à voyageurs de première classe, 5 de deuxième classe et 6 de troisième classe, 6 fourgons à bagages, 30 wagons à marchandises, 50 wagons plate-forme qui ont servi au ballastage et dont une partie sert encore à l'entretien de la voie. Vous voyez donc qu'il n'est pas toujours prudent de restreindre ses prévisions. Il est du reste à remarquer, au point de vue général, qu'indépendamment de la base donnée par le trafic brut kilométrique de la ligne à desservir, le matériel roulant peut être établi sur les données suivantes :

1 machine locomotive par chaque 10 kilomètres.
4 voitures à voyageurs par machine.
2 fourgons à bagages par machine.
10 wagons de marchandises par machine.
20 wagons plate-forme et divers par machine.

Cette base donne des résultats qui coïncident avec ceux que donne la base du revenu brut kilométrique. L'application de ces principes empiriques comparée avec les résultats fournis par l'application exacte du nombre de voyageurs et des trains de marchandises, eu égard au nombre de trains, m'ont amené, pour le réseau de Seine-et-Marne, à une dépense de 14,000 fr. par kilomètre pour le matériel roulant. Mais je dois dire que la communication avec les cinq grandes lignes qui traversent le département de Seine-et-Marne, obligeait à une dépense de cette importance.

A présent que nous venons d'examiner les différents chefs qui entrent dans la composition du prix kilométrique de construction d'un chemin

de fer d'intérêt local, nous allons voir, en les résumant, que nous atteignons le chiffre que j'ai annoncé en commençant comme utile et rationnel dans la plupart des cas, pour des chemins qui valent la peine d'être construits et exploités, de 100 à 110,000 fr. par kilomètre. En effet nous avons :

1° Acquisition de terrain 2 hectares *par kilomètre* . . .	10,000 fr.
2° Terrassements, déviations de chemins et cours d'eau.	15,000
3° Ouvrages d'art	10,000
4° Passages à niveau et dépendances	3,000
5° Voie et ses accessoires	36,000
6° Stations et constructions diverses	5,000
7° Matériel roulant et petit outillage	10,000
8° Empierrements, petites clôtures	3,000
9° Somme à valoir, imprévus	4,000
Ensemble	96,000 fr.
Administration, personnel, frais généraux, ordinairement 12 pour 100 réduits à 10 pour 100.	9,600
Dépense totale par kilomètre . . .	105,600 fr.

La moyenne kilométrique de mon projet de réseau de Seine-et-Marne est de 117,315 fr. Il me paraît donc avoir démontré maintenant que j'ai annoncé un fait vrai en disant que la construction d'un chemin de fer d'intérêt local, dans des conditions utiles de construction et d'exploitation, c'est-à-dire à grande voie, devait atteindre 100 à 110,000 fr. par kilomètre. Et encore je n'ai rien prévu pour l'amortissement du matériel fixe et roulant.

J'ai expliqué pourquoi je m'éloignais, dans mes appréciations, des estimations à bon marché; il me semble bon à présent de grouper différents chiffres représentant la dépense pour des chemins de fer d'intérêt local exécutés, afin de voir si je suis dans le vrai.

Or, si je prends les premiers chemins de cette sorte exécutés en France, les chemins d'Alsace, c'est-à-dire dans un pays plat, sans difficultés aucunes, je trouve que *les chemins de Strasbourg à Barr, Mutzig et Wasselonne* (49 kilom.) ont coûté 117,300 fr. par kilomètre.

Le *chemin d'Haguenau à Niederbroon* (20 kilom.), a coûté 90,700 fr. par kilomètre.

Le *chemin de Schlestadt à Sainte-Marie-aux-Mines* (21 kilom.) a coûté 119,800 fr. par kilomètre.

En moyenne 112,000 fr. par kilomètre.

D'autres lignes en construction dans la Sarthe, dans la Saône-et-Loire, dans l'Hérault atteindront certainement cette moyenne, s'ils ne la dépassent.

Si nous cherchons des exemples hors de France, nous trouvons en feuilletant l'ouvrage publié par MM. Lan et Bergeron, à la suite de leur mission en Angleterre et en Écosse, pour rechercher les conditions d'établissement économique des chemins ayant des revenus réduits, nous trouvons :

1° *Ligne de Leven* (*embranchement sur la ligne d'Edimbourg, Pesth et Dundee*), 9 kilomètres . . . . 105,600f par kilom.

2° *Ligne d'East-of-Fife*, 11 kilomètres. 95,798f

Revenu de ces deux lignes réunies 12,196f par kilomètre.

3° *Ligne de Peebles* (*embranchement du North British*), 30 kilomètres 107,971f 52

Revenu 10,000f par kilomètre.

4° *Ligne de Deeside* (*embranchement du North Eastern Scottish*), 52 kilomètres. 142,150f

Revenu 14,750f par kilomètre.

5° *Ligne de Banff-Portsoy et Strathisla* (*embranchement du North-of-Scotland*), 30 kilomètres. . . 90,000f

Revenu 4,500f par kilomètre.

6° *Ligne du Morayshire*, 9k.600. . . . . 105,357f

7° *Embranchement de Forsh and Clyde*, 48 kilom.

Sans matériel. 100,000f

Et avec matériel 108,000f

Je pourrais multiplier les exemples cités par MM. Lan et Bergeron; mais comme j'ai indiqué les prix des chemins ayant donné lieu aux moindres dépenses, on voit déjà que la dépense kilométrique inférieure se tient toujours aux environs de 100.000 fr. à 110.000 fr.

Ce fait bien établi, il est intéressant de rechercher dans quelle mesure les départements et l'État, joints ensemble dans une proportion prévue par la loi du 12 juillet 1865, viendront en aide aux compagnies qui se chargeront de la construction de lignes ne devant avoir qu'un revenu souvent trop bas pour rémunérer la dépense faite, si cette dépense n'était pas réduite par des subventions.

A mon avis, les départements doivent se persuader par avance qu'ils auront à faire des sacrifices importants s'ils veulent trouver des concessionnaires sérieux pour les chemins de fer d'intérêt local. Dans cet ordre d'idées, j'ai proposé au département de Seine-et-Marne de prendre pour base de la subvention kilométrique à accorder à chaque ligne du réseau la dépense à faire pour la plate-forme, suivant la loi de 1842, augmentée ou diminuée d'une somme variant avec le déficit ou le boni de l'exploitation.

Pour mieux me faire comprendre, je prendrai deux lignes distinctes :

1° *Cas du déficit.* — La plate-forme, d'après les estimations, doit coûter 46,240 fr. par kilomètre. En plus, la dépense restant à faire par la compagnie pour la voie, les stations et accessoires, doit être de 51,760 fr. par kilomètre. Cette somme serait remboursée en quatre-vingt-dix ans par une annuité calculée à raison de 7,10 p. 100 (y compris 1 p. 100 de bénéfice pour la compagnie), s'élevant à la somme de. 3,674f,96

Les frais d'exploitation sont estimés à. 7,000 00

Le produit nécessaire du trafic serait donc 10,674f,96

Or, les prévisions du revenu ne s'élèvent qu'à 10,500f,00

Il y aura donc un déficit annuel de 174f,96

qui, capitalisés à 5 p. 100, représentent. 3,500f

Cette somme, ajoutée à 46,240 fr., prix de la plate-forme, forme 49,740 fr., que j'ai demandés comme subvention.

2° *Cas du boni.* — Pour une autre ligne du réseau, la dépense kilom. de la plate-forme s'élève à . . . . 63,240 fr.

L'annuité à 7,10 p. 100, remboursant en quatre-vingt-dix ans la somme de 51,700, qui est à la charge de la compagnie pour voies et accessoires par kilomètres, est comme ci-dessus. 3,674f,96

Les frais d'exploitation sont comptés à. 7,000 00

Il faudrait donc un trafic qui produisît. 10,671f,96

Or, le revenu probable est estimé à. 12,500 00

Il y aurait donc un boni annuel de. 1,825f,04

dont il est juste de tenir compte pour diminuer les charges du département. Par suite, la demande de subvention a été réduite de 63,240 fr. à 35,000 fr. par kil.

Cette méthode d'établir la subvention m'a paru très-rationnelle et en même temps très-équitable, puisque la subvention à demander variera avec les difficultés d'exécution et avec la valeur du trafic de chaque ligne.

Un autre moyen cependant pourra être proposé par des départements peu riches ou trop chargés déjà de centimes extraordinaires, c'est celui de l'augmentation temporaire des tarifs ordinaires des chemins de fer. Il est certain que ces tarifs peuvent être augmentés, tout en laissant encore un avantage assez grand à la voie de fer pour lui assurer le transport des voyageurs et des marchandises.

La marge est grande entre les prix du transport par chemin de fer et les prix du transport par terre. C'est l'opinion que mettait en avant M. l'ingénieur en chef du département de Seine-et-Marne, dans son rapport au conseil général en 1865. Je comprends que l'on puisse se rallier à ce système, car il constitue une sorte d'impôt indirect qui se paye par petites sommes et sans qu'on s'en aperçoive, et qui n'est payé que par

ceux qui consomment. Ce serait en effet ceux qui se serviraient le plus du chemin de fer qui payeraient le plus. Il y aurait là un avantage assez sérieux pour les populations.

Et j'avance que, pour mon compte, je serais plus disposé à accepter une subvention reposant sur une augmentation de tarifs, qu'à me rallier au système des très-fortes subventions avec abaissement des tarifs, préconisé par une brochure publiée, l'année dernière, par M. G. Poujard'hieu.

Je crois que ces très-fortes subventions imposeraient aux populations des charges longues et pénibles qu'elles accepteraient difficilement, et qu'on n'arriverait ainsi, si le système passait à l'état de pratique générale, qu'à ajourner indéfiniment l'exécution des chemins de fer d'intérêt local.

D'ailleurs, l'expérience de l'abaissement des tarifs se fait en ce moment sur les grandes lignes de Belgique; cette expérience, d'après le rapport très-clair et très-concluant de M. Prosper Tourneux, inspecteur général des chemins de fer, que vous serez appelés à examiner, réussit mal et n'est pas encourageante; jusqu'à présent elle n'a produit que l'augmentation des voyageurs et la diminution des recettes, dans une proportion telle qu'il n'y a pas à espérer que l'une fasse disparaître l'autre. Vous lirez avec un grand intérêt, messieurs, ce rapport remarquable, bourré de renseignements précis, et je suis certain que vous condamnerez avec lui l'abaissement des tarifs mis à l'épreuve en Belgique, et déjà soutenu avec hésitation par ses promoteurs mêmes.

J'aurais fini, Messieurs, si je ne voulais compléter toute ma pensée sur les chemins de fer d'intérêt local, en vous disant quelques mots sur leur exploitation. Je vous demande la permission de les ajouter.

C'est, à mon avis, sur l'exploitation que doit porter toute la réforme économique que sont appelés à réaliser les nouveaux chemins de fer.

Il faut quitter la voie administrative dans laquelle les fusions des diverses compagnies de chemins de fer ont forcément conduit les grandes compagnies actuelles, qui étendent leur action et leur monopole sur des milliers de kilomètres chacune.

Il faut oublier, comme vous l'a dit notre Président, dans son très-intéressant discours d'installation plein d'idées neuves et vraies, il faut oublier, dis-je, les nombreux états-majors, il faut que le chemin de fer d'intérêt local soit un commerçant, un industriel, qui ne dépense qu'au fur et à mesure des besoins, et qui associe tous les rouages au succès de l'entreprise.

Ainsi je proscrirais le chef de gare, fonctionnaire public, obligé de rester dans sa gare pour saluer, de sa casquette dorée, tous les trains qui passent, et je le remplacerais par un agent qui soit l'homme du public, qui ait toute liberté et toute initiative pour aller chercher les affaires et les amener à son chemin de fer; et pour qu'il réussisse mieux, je l'intéresserais aux produits de la gare.

Je suis certain qu'un chef de gare ainsi compris n'aurait que le nombre d'auxiliaires strictement nécessaire, et ferait toutes les économies possibles pour atteindre à la réduction des dépenses et au développement maximum de la recette brute.

Je supprimerais tout travail de nuit, toujours très-fatigant et très-dispendieux.

J'organiserais un service de trains de jour, qui suffirait à desservir tous les besoins.

Et pour que la marche des trains desserve tous les besoins, je l'assimilerais volontiers à celle d'une diligence qui s'arrête à toutes les portes, qui va ramasser le long de sa route, à toutes les usines, à toutes les fermes, les voyageurs et les marchandises. Quoi de plus facile que d'agir ainsi avec des trains qui marcheront lentement, qui seront toujours seuls sur la voie, faisant le service à petite distance, toujours en navette. Où sera le danger alors de s'arrêter en route, et l'inconvénient d'arriver en retard au but du voyage? Il n'y en aura plus. Et pour les recettes, quelles difficultés y a-t-il à ce que le chef de train, pour les arrêts en dehors des stations, les fasse en route? je n'en vois aucunes.

Je ne m'étendrai pas davantage sur ces aperçus d'organisation économique que vous entrevoyez tout aussi bien que moi, et que vous saurez compléter et appliquer admirablement suivant les circonstances.

Mais je tiens à vous dire encore que j'ai compté que, malgré toutes les économies apportées à l'exploitation, il sera bien difficile de ne pas dépenser environ 2 fr. 00 par train-kilomètre; vous en jugerez par la décomposition suivante :

Les dépenses de l'exploitation se divisent ainsi :
Administration et frais généraux;
Matériel et traction;
Entretien et surveillance de la voie;
Exploitation proprement dite.

Or, les dépenses d'administration et frais généraux bien réduits, ne peuvent être comptés par train-kilomètre à moins de.	0, 30
Les dépenses d'entretien et renouvellement de matériel et de traction sont variables avec le nombre de trains; mais pour un train moyen de 100 tonnes, sur des rampes de 0.012 à 0.020, avec une vitesse de 25 kilom. à l'heure, ces dépenses s'élèveront au moins à	0, 60
On doit compter par train-kilomètre les dépenses d'entretien, de renouvellement et de surveillance de la voie, à.	0, 40
La dépense d'exploitation proprement dite dépendra de l'aménagement plus ou moins bien fait des stations; mais en moyenne il faut compter par train-kilomètre.	0, 60
J'ajouterai, pour accidents, impôts, frais imprévus..	0, 10
Total des dépenses par train-kilomètre.	2f,00

Dès lors la dépense par kilomètre du chemin variera suivant le nombre de kilomètres parcourus par les trains. Or, si nous supposons un chemin de 40 kilomètres, sur lequel on fasse 4 voyages par jour soit 160 kilomètres ou 58,400 kilomètres par an, la dépense d'exploitation sera de 116,800 fr., soit de 2,920 fr. par kilomètre de chemin et par an. Si à ce chiffre nous ajoutons l'intérêt à 5 pour 100 du prix de construction du kilomètre supposé à 100,000 fr., nous arrivons à une dépense annuelle de 7,920 fr. par kilomètre.

Et si la recette brute est de 10,000 fr., nous voyons que la dépense est de 79 pour 100 de la recette.

Dans ces conditions, le capital, après avoir touché les intérêts à 5 p. 100, pourrait encore avoir un petit dividende; mais en le supposant acquis, il serait prudent de le conserver pour les besoins d'amortissement.

La proportion de la dépense à la recette monte, pour l'exploitation faite par la Compagnie de l'Est sur les chemins départementaux d'Alsace, où elle a appliqué ses tarifs généraux, jusqu'à 85 pour 100. C'est pourquoi je condamne l'exploitation du chemin de fer d'intérêt local par les grandes compagnies dont l'organisation, les tendances, les empêcheront toujours d'arriver à une exploitation avantageuse pour elles et pour la compagnie qui les emploiera.

J'ai pour appui de mon opinion M. Jacqmain, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de l'exploitation de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, qui dit, dans son ouvrage publié en 1867, que les grandes compagnies qui prendraient les chemins d'intérêt local complétement achevés, et avec la seule obligation de fournir le matériel roulant, ne pourraient les exploiter à moins d'une dépense kilométrique annuelle de 8,500 francs.

Ensuite, M. Jacqmain continue : « A cette conclusion nous n'ajoute-
« rons pas la pensée que la construction des lignes secondaires est dé-
« sormais impossible; dans un certain nombre de cas, au contraire, les
« lignes secondaires pourront donner, outre le payement des dépenses
« d'exploitation, une rémunération du capital, *mais à la condition de n'être*
« *point englobées dans les réseaux des grandes compagnies, et de rester la*
« *propriété de sociétés particulières indépendantes de ces grandes compagnies.*

« Malgré les difficultés que présente une exploitation morcelée, notre
« conviction est qu'une petite société, n'ayant avec les grandes compa-
« gnies que des conventions pour la gare de bifurcation et l'échange du
« matériel roulant, pourra tirer de l'exploitation d'un chemin de fer d'in-
« térêt local un rendement supérieur à ceux que nous venons d'in-
« diquer.

« Et cela pour une seule raison, c'est que l'État et le public seront
« moins exigeants. »

Il n'est pas sans intérêt de faire une digression à ce sujet.

Il ressort en effet des statistiques établies que, sur les grandes lignes,

les réserves faites au profit de l'État sont très-importantes. Sur le réseau de l'Est seul, en 1866, les avantages directs recueillis par l'État s'élèvent à 15,552,033 fr. 61 pour une longueur kilométrique de 2,533 kilomètres, soit 6,139 fr. 75 par kilomètre.

Or, en supposant que ce chiffre se réduise à 6,000 fr. par kilomètre pour toutes les lignes du réseau français dont la longueur actuellement prévue est de 21,000 kilomètres, on arrive à une somme annuelle de 146,000,000 fr. qui permet non-seulement de servir l'intérêt du capital de 1,500,000,000 fr., versé par l'État à titre de subventions diverses, mais encore d'amortir ce capital; de sorte qu'au moment de l'expiration des concessions, l'État entrera en possession d'un magnifique réseau de chemins de fer libre de toutes charges, et dont les revenus suffiront à couvrir la plus grande partie de la dette publique.

Vous voyez, Messieurs, que les compagnies ont beau jeu pour demander des subventions à l'État pour l'exécution des chemins de fer.

Mais, pour rentrer dans mon sujet, je dirai avec M. le directeur de l'exploitation des chemins de fer de l'Est, que les petites compagnies ont l'avenir devant elles pour faire utilement les chemins de fer d'intérêt local.

Et, en même temps, je tirerai comme conclusion qui se dégage des observations et calculs que je viens de vous présenter:

1° Qu'un chemin de fer d'intérêt local pourra être construit à grande voie, dès l'instant qu'il devra procurer une recette brute annuelle de 9 à 10,000 fr. par kilomètre.

2° Que, dans ce cas, le chemin de fer ne pourra pas être construit à moins de 100 à 110,000 fr. par kilomètre.

Le champ restera ouvert au-dessous de ces prix pour tous les intérêts moindres — je suis loin de le nier ; mais je tenais à examiner avec vous à son vrai point de vue la question des chemins de fer d'intérêt local, *qui méritent vraiment ce titre*, pour répondre à des demandes indécises qui me sont faites chaque jour.

Je m'applaudirai si j'ai pu attirer votre attention sur ces chemins de fer dont tout le monde reconnaît l'importance, et qui doivent, il me semble, devenir le domaine des membres de la Société des Ingénieurs civils.

NOTE

SUR LES CHEMINS DE FER

DE LA

SUCRERIE DE TAVAUX-PONTSÉRICOURT

Par MM. **MOLINOS** et **PRONNIER**.

Les chemins de fer de la sucrerie de Tavaux-Pontséricourt se composent de deux petites lignes : l'une, de 4,200^{m} de longueur, est établie dans la vallée de la Serre, de Tavaux à Moranzy-Agnicourt; l'autre, de 8,500^{m}, relie l'usine à Gronard, village situé dans la vallée de la Brune, en franchissant suivant les lignes de plus grandes pentes le faîte de 50 mètres environ de hauteur qui sépare ces deux vallées. Ces deux chemins de fer ont été construits pour le service exclusif de l'usine. Ils desservent deux dépôts importants de betteraves. Leur trafic se compose donc de betteraves des dépôts vers l'usine, de pulpes et de défécations dans l'autre sens. Ils ont transporté cette année environ 12,000 tonnes et leur mouvement sera sans doute doublé dans un court délai. Ils ne doivent fonctionner que pendant 3 à 4 mois de l'année, comme la fabrique elle-même.

Ces petits chemins de fer ne se distinguent donc pas au premier abord d'un assez grand nombre de lignes industrielles analogues, construites pour des mines, des forges, etc. Cependant leur installation a présenté plusieurs particularités qu'il nous a paru utile de faire connaître et qui peuvent même offrir un intérêt général, comme nous essayerons de le démontrer plus loin.

Ces chemins de fer sont établis sur l'accotement de chemins communaux ou vicinaux. Ils traversent dans toute leur longueur deux villages, passant devant les portes des habitations, et pendant une exploitation de six mois, ils n'ont donné lieu à aucun inconvénient. Il y a déjà longtemps que cette solution a été proposée pour l'établissement de chemins économiques. M. Love et nous-mêmes avons, dès 1861, publié des mémoires pour la recommander.

Nous en apportons aujourd'hui la première application, et nous pouvons affirmer que le succès en a été complet et qu'aucune des difficultés d'exploitation qu'on pouvait redouter ne s'est présentée dans la pratique. Le voisinage des machines n'effraye pas les chevaux et même au milieu des villages le passage de trains très-fréquents, car leur nombre s'est élevé souvent jusqu'à 40 par jour, s'est parfaitement accommodé à toutes les exigences de la circulation, et n'a gêné en rien les habitants.

Le chemin de fer de Tavaux à Gronard est, ainsi que nous l'avons dit, établi sur l'accotement élargi de la route vicinale qui relie ces deux villages. La marche administrative suivie a été très-simple. Nous avons traité avec les deux communes sur lesquelles le chemin est situé, et moyennant une légère rétribution annuelle, elles ont décidé l'élargissement de la route de $1^m,10$ et nous ont concédé le droit d'établir notre chemin de fer sur cette bande de $1^m,10$, augmentée d'une bande de 1 mètre prise sur l'ancien accotement. Le chemin qui avait 8 mètres de largeur, s'est ainsi trouvé porté à 9 mètres, et aujourd'hui il conserve une largeur de 7 mètres, plus que suffisante aux besoins de la circulation.

En matière d'élargissement de chemins vicinaux, un simple arrêté préfectoral suffit; la mise en possession est à peu près immédiate; les indemnités sont réglées par le service vicinal et, en cas de difficultés, portées devant le juge de paix. Ce sont donc des formalités très-sommaires et très-simples, qui dispensent de toute concession et de déclaration d'utilité publique.

De plus, le ministre des travaux publics a assimilé le train circulant sur la voie aux machines routières, et l'a soumis aux mêmes règlements.

Dans beaucoup de cas, l'élargissement ne serait pas nécessaire et une portion de l'accotement du chemin serait suffisante pour l'établissement de la ligne en laissant à la route la largeur nécessaire à la circulation; ce serait alors encore plus simple.

Ce système nous obligeait à suivre exactement le profil de la route; aussi le profil du chemin de Tavaux à Gronard est-il remarquablement accidenté. Il présente une succession de pentes et de rampes qui varient communément de 15 à 25 millimètres. Mais la rampe qui gravit le faîte présente 75 millimètres sur 300 mètres, 58 millimètres sur 300 mètres et 31 millimètres sur 400 mètres de longueur; une dépression située de l'autre côté de ce faîte oblige à une rampe de 50 millimètres, et du côté de Gronard, dans la traversée du village de Burelles, on descend dans la vallée de la Brune au moyen d'une rampe qui varie de 52 millimètres à 60 millimètres sur 1 kilomètre de longueur.

En plan, les courbes descendent jusqu'à 30 mètres de rayon; la rampe de 60 millimètres dans Burelles en présente une de 50 mètres.

On conçoit que dans ces conditions le chemin épouse absolument le relief du terrain, et qu'il puisse suivre même, comme on le voit dans la

traversée de Tavaux, trois chemins qui se coupent à angle droit. Ces conditions permettent d'obtenir le minimum des dépenses.

La ligne de Tavaux à Moranzy suit, ainsi que nous l'avons dit, la vallée de la Serre; aussi est-elle relativement très-peu accidentée. Il eût été très-facile de réduire les pentes au maximum adopté sur les grandes lignes. Mais dans le but de réaliser la plus grande économie possible, nous avons placé ce chemin de fer sur le sol, ce qui ne nous a donné que des rampes de 10 à 15 millimètres, sauf trois rampes de 30 millimètres très-courtes. En revanche le plan de la ligne, suivant des chemins ruraux très-mal tracés, est excessivement contourné et présente beaucoup de courbes de 30 à 45 mètres.

La plate-forme du chemin a $2^m,10$ de largeur, l'écartement entre les champignons supérieurs des rails est de $1^m,00$.

Les rails sont du système américain dit Vignolles : ils pèsent 13 kilog. le mètre courant, leur longueur normale est de $6^m,00$. Ils reposent sur des traverses en bois de chêne de $1^m,50$ de longueur sur $0^m,16$ de largeur et $0^m,08$ d'épaisseur, aubier déduit. Les traverses de joint ont $0^m,20$ de largeur. Il y a 7 traverses par longueur de rail de $6^m,00$. Les rails sont éclissés et sont fixés aux traverses par des tire-fonds de 15 millimètres de diamètre.

L'épaisseur de la couche de ballast n'est que de $0^m,20$.

Les changements de voies sont à rails mobiles du système le plus primitif; les croisements sont en fonte dure d'un seul morceau.

Les plaques tournantes sont en bois et fer; la cuve est en maçonnerie de briques.

Les machines locomotives, au nombre de trois, ont été construites par l'usine du Creusot suivant le type qu'elle a exposé à l'Exposition universelle sous le nom de machines du chemin de Blanzy.

Ces machines ont le cylindre et le mouvement de distribution extérieurs; elles ont 4 roues couplées de 0,76 de diamètre au cercle de roulement; l'écartement d'axe en axe des essieux est de $1^m,25$.

Le diamètre des cylindres est de 204 millimètres et la course des pistons de 360 millimètres. La surface de chauffe totale est de $19^{mq},38$; $2^{mq},34$ de foyer, et $17^m,34$ de tubes; les tubes ont 35 millimètres de diamètre extérieur et $1^m,78$ de longueur. La grille a une surface de $0^{mq},42$.

Les ressorts de suspension ont $0^m,53$ de largeur; ceux de traction ont $1^m,15$ qui est aussi la cote d'écartement d'axe en axe des tampons. La hauteur de l'axe des tampons au-dessus du rail est de $0^m,58$.

Ces machines n'ont pas de tenders; elles portent leur eau et leur charbon; la capacité des caisses à eau est de 850 litres; celle de la soute à charbon, de 160 litres.

Enfin la machine pèse pleine environ 7,500 kilogr. et vide 5,700 kilog.

Nous aurions donné la préférence à un type de machine plus puissant, c'est-à-dire ayant un plus grand nombre de roues couplées, car nous ne

voudrions pas dépasser une charge de 4,000 kilogr. par essieu sur notre rail, mais le délai que nous pouvions accorder pour l'exécution de ces machines étant beaucoup trop court pour une étude nouvelle, nous avons donc dû nous contenter d'un type existant, trop faible pour notre trafic mais satisfaisant au point de vue de la conservation de notre voie.

Notre matériel roulant comprend 42 wagons spéciaux pour le transport de la betterave et 18 wagons de terrassement à bascule que nous avons aussi utilisés au transport des betteraves après la construction du chemin.

Les wagons spéciaux à betteraves exigeant peu de temps d'exécution ont pu être construits suivant nos études. Les châssis et les caisses de ces wagons sont solidaires.

La caisse est à claire-voie : elle a $3^{m},00$ de longueur intérieure sur $2^{m},00$ de large, sa capacité est de 7 mètres cubes. Deux portes s'ouvrant de bas en haut sur l'un des côtés facilitent le chargement et le déchargement du wagon.

Les roues sont en fer forgé du système Arbel sans bandages rapportés : elles ont $0^{m},67$ de diamètre au cercle de roulement. L'écartement d'axe en axe des essieux montés est de $1^{m},85$.

Les wagons sont munis de ressorts de suspension et de traction, mais les tampons sont secs. Les ressorts de suspension ont une flexibilité de $0^{m},10$ par 1,000 kilogr. Pour concilier cette grande flexibilité nécessaire sur notre voie avec l'économie que nous désirons apporter dans la construction des wagons, les ressorts sont montés de manière à ne fonctionner que sous une charge inférieure à la moitié de la charge maxima : passé cette limite le châssis vient reposer directement sur les boîtes à huile.

Les ressorts de traction sont du système Brown.

Chaque wagon est muni d'un frein à vis très-puissant avec sabot en fonte, du système Stilmant.

Le poids du wagon vide est de 2,100 kilog. Sa charge maxima est de 6,000 kilogr. Son poids brut peut donc atteindre 8,100 kilogr.

Il nous reste à parler de l'exploitation, et d'abord du chemin de Tavaux à Gronard.

Le mouvement le plus important a lieu de Gronard vers Tavaux. Le tonnage est double dans ce sens de ce qu'il est dans l'autre.

L'obstacle principal que nous rencontrions était donc dans la remonte de la rampe de Burelles. Le service se fait en relais.

Une machine fait la traction de Gronard au sommet de Burelles.

Une autre de ce point au faîte de Tavaux.

Une troisième enfin de ce faîte à l'usine.

Par les plus mauvais temps, une machine a toujours remonté un wagon de $7^{t},5$ sur la rampe de Burelles avec une vitesse d'environ 15 kilomètres à l'heure. Très-souvent elle en remonte deux.

Le premier cas correspond à une adhérence de $\frac{1}{7.6}$; le second, à une adhérence de $\frac{1}{5}$.

La seconde machine, du haut de Burelles au faîte, conduit des trains de six wagons, lorsque le temps est favorable, soit 45 tonnes brutes, et au minimum de 4, soit 30 tonnes brutes.

Au pied de la rampe de 50 millimètres, cette machine dételle et remonte deux wagons à la fois.

Du faîte à l'usine, la troisième machine mène ordinairement des trains de huit wagons, au minimum de six.

Au retour, la moitié des wagons revenant à vide, la machine ramène des trains de six wagons, composés alternativement d'un wagon chargé et d'un wagon vide.

Sauf quelques très-rares exceptions, elle a régulièrement monté sur la rampe de 75 millimètres un wagon chargé et un vide, soit $9^t,700$; mais toujours par le brouillard, la neige ou le verglas, elle a monté un wagon chargé.

Dans le premier cas, l'adhérence est $\frac{1}{5.4}$; dans le second, de $\frac{1}{6}$.

Ce n'est que très-rarement qu'il a fallu se réduire à un seul wagon, et pourtant l'exploitation s'est faite pendant les mois d'octobre, novembre, décembre et janvier.

L'effort de traction a atteint, comme on le voit, 1380 kilogrammes, et la pression monte pendant l'ascension.

C'est donc un exemple qui nous paraît digne d'attention, et qui montre qu'on peut baser une exploitation industrielle sur des rampes de 60 à 75 millimètres, avec toute certitude que le service sera régulièrement effectué.

Avec l'aide de la boîte à sable, l'adhérence ne descend pas au-dessous de $\frac{1}{6}$.

Il faut observer cependant que la rampe de 75 millimètres est placée dans des conditions favorables au point de vue de l'adhérence. Elle est exposée au midi, dans un pays découvert; à une altitude assez élevée, l'action du soleil et des vents la sèche rapidement.

Mais, au contraire, la rampe de Burelles est placée dans de très-mauvaises conditions, au nord, dans un village, abritée par des haies et des arbres qui entretiennent l'humidité.

Ces deux rampes présentent donc à peu près des conditions extrêmes; aussi tandis que le coefficient d'adhérence minimum est d'environ $\frac{1}{6}$ sur la grande rampe, il n'a été que de $\frac{1}{7}$ sur celle de Burelles.

Sur la ligne de Moranzy, les trains de Moranzy vers Tavaux se composaient de six à huit wagons, représentant 45 à 60 tonnes brutes.

Ces chemins de fer ont été exécutés dans des circonstances toutes particulières, qui ont eu une influence très-considérable sur toutes leurs conditions d'établissement et d'exploitation.

Tous les chemins qui aboutissent à l'usine de Tavaux, construits en très-mauvais matériaux, et déjà en fort mauvais état lors de l'établissement de l'usine, ont été détruits en deux campagnes par les charrois de betteraves. Il nous devenait impossible de conduire à l'usine les betteraves qu'on nous livrait à nos dépôts. Pour donner une idée de l'étendue du mal, il nous suffira de dire que les transports, pendant la campagne de 1866-67, nous coûtaient plus de 1 franc par tonne et par kilomètre, et que l'administration vicinale nous réclamait 32,000 francs de subventions industrielles; ce qui, pour les betteraves seules, double presque le prix déjà excessif du transport.

Nous étions certains de ne pas sortir de cet état de choses, par suite de la grande difficulté que présente l'entretien des chemins dans ce pays totalement dépourvu de bons matériaux, et de retrouver les mêmes conditions désastreuses à chaque hiver pluvieux.

La solution était indiquée et inévitable; c'était de relier les dépôts à l'usine par un chemin de fer économique.

De plus, nous étions engagés à construire une seconde fabrique à Gronard, pour la dernière campagne. Une fois entrés dans cette voie de chemins économiques, nous avons préféré développer le système et substituer à l'usine de Gronard un dépôt de betteraves, relié par un chemin de fer à l'usine de Tavaux agrandie. L'ensemble de ces circonstances nous obligeait à établir ces lignes dans l'intervalle de deux campagnes. Nous avions donc environ six mois pour étudier le projet, accomplir les formalités administratives et exécuter les travaux et le matériel.

La conséquence a été pour nous de placer notre chemin exclusivement sur les routes, de nous interdire en principe toute tentative d'amélioration de tracé que nous ne pouvions réaliser que par une entente amiable avec de nombreux propriétaires et fermiers, ce qui était impraticable dans un si court délai.

C'est ainsi que le tracé de nos lignes présente un plan et un profil si accidentés, et que nous avons été contraints d'accepter la solution avec toutes ses plus grandes difficultés, au point de vue de l'exploitation.

Nous avons la conviction que, dans la plupart des cas, on pourrait adopter la même solution, réduire les trop grandes rampes à un maximum de 3 c/m, et porter le rayon minimum des courbes à 100 mètres, au moyen de quelques rectifications faciles à réaliser avec un peu de temps; ce sera le cas le plus général pour toutes les usines qui imiteront notre exemple, et qui pourront même réduire notablement les dépenses d'exécution. Voici en effet le prix de revient de nos lignes par kilomètre. Nous

rappelons que leur longueur totale, non compris les garages, est de 14 kilomètres.

Indemnités de terrain	857 fr.
Terrassements	2800
Maçonnerie et charpente	1107
Traverses	1857
Ballastage et pose de la voie	2500
Rails et éclisses	7214
Locomotives, matériel fixe et roulant	9357
Frais généraux et divers	642
Total	26334

Il y aura lieu d'augmenter un peu la couche de ballast, à cause de sa mauvaise qualité; cette dépense, jointe à quelques frais de parachèvement complémentaire, portera la dépense kilométrique à environ 28,000 francs.

La nécessité d'effectuer le service en relais nous a obligés à un matériel considérable. L'exemple du chemin de Malaise qui, quoique fort accidenté, se rapproche le plus des conditions ordinaires dans lesquelles on aura à construire ces petits chemins, montre qu'avec une machine et dix-huit wagons, on amènerait facilement à l'usine, en cent jours, durée normale de la fabrication, 15 millions de kilogrammes de betteraves, ce qui est énorme pour un seul dépôt. Avec ce matériel réduit, le prix du kilomètre ne ressortirait pas à plus de 20 à 22,000 francs, tout compris.

Peut-on tirer de cette application un usage plus général? C'est une question très-intéressante sur laquelle nous voudrions appeler l'attention de la Société.

La diffusion des chemins départementaux, quoique sans doute bien désirée, éprouve des lenteurs dont il est facile de préciser les causes.

La plupart des départements qui débutent dans ces essais proposent d'accorder des concessions sur des bases analogues à celles de la loi de 1842; ils offrent d'effectuer, à l'aide des subventions des communes, de la contribution proportionnelle de l'État et de leurs propres fonds, l'infrastructure du chemin, et ils cherchent une compagnie qui vienne achever la ligne et en prendre à sa charge l'exploitation.

Or la dépense de l'infrastructure s'élève, dans les conditions les plus ordinaires, à 40,000 francs environ par kilomètre, et le sacrifice que la compagnie doit s'imposer pour terminer la ligne est de 60 à 65,000 francs par kilomètre, au minimum.

On ne peut admettre que l'exploitation coûte moins de 6,000 francs, et l'intérêt de 65,000 francs, à 6 p. 100, représente 3,900 francs.

Ces chiffres démontrent donc, sans qu'il soit nécessaire d'insister, qu'au-dessous de 10,000 francs de recette brute par kilomètre, le capital fourni par la compagnie ne pourrait pas être rémunéré.

Or, d'une part, les lignes départementales qui offriront une recette kilométrique de 10,000 francs sont bien rares, et, d'un autre côté, le peu de marge laissée par les calculs de produits, la large porte ouverte aux mécomptes, ne peuvent permettre à une compagnie de souscrire un capital de 60,000 francs par kilomètre, pour une entreprise qui, dans les conditions les plus favorables, ne paraît présenter que la chance de la plus stricte rémunération du capital.

Ainsi posée, la question n'est donc susceptible d'aucune solution; et en effet la presque totalité des lignes départementales exécutées jusqu'ici l'ont été sur ce principe, que le département a fourni la somme totale nécessaire à leur établissement, ou à très-peu près.

C'est le cas des lignes de la Sarthe, à peu près celui de l'Hérault. Quant aux lignes d'Alsace, la Compagnie de l'Est les a acceptées, comptant sur un trafic kilométrique de 10,000 francs, et le mécompte qu'elle a éprouvé n'est pas de nature à pousser les grandes compagnies à l'imiter.

La difficulté gît donc tout entière dans cette vérité :

Les chemins de fer sont un admirable instrument lorsqu'ils desservent un gros trafic. Si on veut les appliquer à un travail inférieur à 10,000 fr. par kilom., la dépense n'est plus en rapport avec le service rendu.

Faut-il donc se résigner à ne rien faire pour des intérêts qui présentent cependant une grande importance? Nous ne le pensons pas; nous croyons, au contraire, qu'il reste à accomplir un immense progrès, et c'est en établissant une plus juste proportion entre l'instrument et le service à rendre, qu'on peut faire pénétrer les avantages des chemins de fer dans un domaine presque sans limite et qui leur paraît aujourd'hui interdit.

Supposons en effet une ligne qui puisse fournir moitié par le trafic des voyageurs moitié par celui des marchandises, une recette kilométrique de 6,000 fr. avec un tarif moyen de 0,10 à 0,12 par tonne et par kilom.

Par le roulage actuel, la tonne kilomét. coûte de 0,30 à 0,40. L'établissement d'un procédé qui permettrait d'effectuer ces transports à 0,10, réaliserait donc pour le public une économie des 2/3, soit 12,000 fr. par kilom. S'il fallait dépenser 50,000 fr. pour obtenir ce résultat, n'aurait-on pas accompli une excellente opération?

La réponse ne peut être douteuse puisque cet argent serait placé à 24 0/0.

C'est exactement ce que nous proposons; nous voudrions voir appliquer de petites voies de 1^{m} à l'exécution des chemins d'intérêt local, partout où on pourrait constater un trafic de 6,000 fr. par kilom.

L'exemple que nous avons exposé à la Société démontre que la dépense ne dépasserait pas 50,000 fr. par kilom. pour un chemin établi de manière à transporter marchandises et voyageurs avec la plus grande sécurité. Dès lors, ces lignes pourraient être construites partout avec la subvention qu'offrent les départements, et on trouverait facilement des compagnies qui n'auraient d'autre charge que celle de l'exploitation.

L'expérience démontrera même s'il est possible d'appliquer la solution à des trafics inférieurs à 6,000 fr. par kilom.

Voyons maintenant les objections qu'on peut élever contre ce projet.

Nous n'en apercevons qu'une seule: la nécessité du transbordement à la gare de jonction avec une grande ligne. Quelle est la mesure de cet inconvénient? Il importe de bien préciser la question.

Sans aucun doute, lorsqu'une ligne fait partie d'un réseau, un transbordement est inadmissible. On ne peut songer à élever une sorte de barrière qui imposerait une charge et surtout un retard des plus gênants au trafic traversant le réseau de part en part; ainsi tout d'abord nous ne croyons pas qu'il faille appliquer cette solution aux petites lignes qui relieraient deux grandes voies et entreraient par suite dans le grand réseau général.

Mais s'il s'agit de simples embranchements sans prolongements prévus, ou au moins repoussés dans un avenir plus ou moins incertain, la question est bien différente. Dans ce cas, le transbordement n'est plus un inconvénient général; c'est une affaire de chiffres; il ne s'agit plus que d'évaluer les frais et les retards qui résulteront de cette opération, et de savoir s'ils peuvent balancer les avantages incontestables que les intéressés recueilleront de l'établissement de ces petites lignes.

Nous avons la conviction absolue qu'en étudiant avec soin la gare de jonction où doit s'opérer le transbordement, on peut arriver à réduire cette opération à des proportions insignifiantes.

En supposant une ligne tracée dans un département à la fois agricole et industriel, quelle sera la nature du trafic habituel?

Il se composera principalement de céréales, sucres, mélasses, vins, cidres, qui se transportent en sacs ou en tonneaux, de bois, fers, fontes, charbons de terre, engrais, etc., en vrac.

Des sacs et des tonneaux peuvent être transbordés à l'aide d'une grue avec la plus grande facilité; c'est une opération insignifiante comme temps et comme dépense. Il en est de même des bois, fers, fontes, etc.

Les matières en vrac comme les charbons et les cendres peuvent également se transborder facilement, en ayant soin de ménager des voies et des quais étagés à différentes hauteurs.

Actuellement le déchargement d'un wagon de charbon et le rechargement en voitures, constituant une double opération, exécutée de la manière la plus barbare, coûtent 0f,25 par tonne.

Cette même opération exécutée avec des moyens un peu plus perfectionnés coûte 0f,17 [1]. Nul doute qu'avec le procédé que nous indiquons, cette dépense ne puisse être réduite à 0f,12 où 0f,15 par tonne.

Quant au retard, que sera-ce que le transbordement pour une ligne

1. Voir le Mémoire de M. Thirion, directeur du réseau central de la Compagnie d'Orléans, sur le chemin de fer de Mondalazac.

dont le trafic sera de 30,000 tonnes par an, soit environ 80 tonnes par jour? à peine quelques heures, un délai négligeable.

Que reste-t-il donc de cette objection qui au premier abord semble si grave?

Un léger embarras pour la Compagnie exploitante ; embarras absolument étranger au public qui n'a nullement à s'en préoccuper, et une charge qui équivaut au parcours d'un kilom. environ en plus.

Nous pourrions nous en tenir à ces explications. Mais il importe de montrer que si ces petites lignes pouvaient se répandre dans la pratique on arriverait à perfectionner leur exploitation et à faire disparaître même l'inconvénient du transbordement.

En effet, il faut admettre que la plupart des usines situées sur le parcours des chemins se raccorderont avec la ligne. Dans ce cas, *elles n'auront pas un transbordement à subir de plus.* Comme avec le roulage, leurs marchandises seront transbordées à la gare et déchargées chez elles ou réciproquement.

L'objection n'existe donc que pour le trafic de détail, et pour une certaine classe de marchandises auxquelles le transbordement fait subir une dépréciation ; or, rien n'empêcherait d'employer sur ces petites lignes des wagons à *caisses mobiles*, qu'on chargerait à l'arrivée sur des trains de voitures, et qui conduiraient à domicile les marchandises. Nous n'avons pas à entrer ici dans le détail pratique de ces combinaisons très-simples et sans doute très-réalisables ; il nous suffit de montrer que cet inconvénient secondaire d'un transbordement peut être même complétement écarté par certaines dispositions, que l'intérêt des petites compagnies les poussera promptement à étudier.

Nous ne parlerons pas de l'exploitation de ces lignes. Le grand nombre d'ingénieurs expérimentés et familiers avec la pratique de l'exploitation des chemins de fer, qui font partie de la Société, ne laisse pas place à deux opinions. Il est évident que la plus grande latitude doit être accordée à cette exploitation, et qu'aucun règlement ne devra s'opposer à la réalisation de toutes les économies possibles, et compatibles avec la sécurité.

A cette condition ces petites voies pourront étendre leurs bienfaits à des trafics de plus en plus faibles, et en développant toutes les ressources locales, préparer le terrain pour l'établissement des grandes voies de $1^m,50$, qui, lorsque le trafic sera devenu suffisamment rémunérateur, viendront remplacer les voies réduites et reconstituer au grand avantage de tous l'uniformité du réseau général.

NOTE

SUR LES

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

PAR M. HENRY MATHIEU.

La question posée par M. Richard dans sa note, et sur laquelle il appelle la discussion, est celle-ci :

« *Étant données l'espèce et la nature des chemins à construire suivant les* « *besoins à desservir et le revenu probable, déterminer le chiffre probable de* « *la dépense kilométrique d'exécution.* »

Je ferai tout d'abord une modification à cette proposition, et au lieu de dire : déterminer le chiffre probable de la dépense kilométrique, je proposerai de dire : *déterminer le chiffre de la dépense kilométrique qu'il ne faut pas dépasser.* Et, en effet, si la recette nette a été déterminée à l'avance par les statistiques et par des études commerciales, c'est ce chiffre qui est le point final de l'opération et qui doit servir à arrêter le capital à engager, pour en tirer une rémunération convenable : cette rémunération convenable est au moins 5 p. 100, et 5.75 p. 100 avec l'amortissement en 99 ans.

Quel doit donc être le capital de construction à dépenser par kilomètre, quand le trafic, les recettes brutes et nettes sont déterminés?

Il me semble que la question est facile à résoudre? Supposons avec M. Richard que le chemin auquel on a affaire doive rapporter 10,000 fr. par kilomètre de recettes brutes. Il faut de ce chiffre retrancher : 1° les comptes d'ordre qu'on peut estimer à 6 pour 100 de recettes brutes; 2° les dépenses d'exploitation. Estimons-les à 6,000 francs par kilomètre, nous y reviendrons plus tard, car c'est un des points les plus importants.

Recettes brutes		10,000 francs
Comptes d'ordre 6 pour 100. .	600	
Frais d'exploitation.	6,000	6,600
Bénéfice net kilométrique.		3,400 francs

Le bénéfice net kilométrique étant de 3,400 francs, le capital placé à $5^{f}.75$ p. 100 correspondant à cette somme est de 59,130 fr., soit 60,000 fr.

On ne fait pas grand'chose avec 60,000 fr. à dépenser par kilomètre

pour un chemin ayant la voie de $1^m,45$. Calculons la dépense de la superstructure :

En estimant le matériel de la voie, la pose et le ballast à 360,00 fr., comme le suppose M. Richard, soit	36,000 francs
Le matériel roulant à	15,000
Les stations, les passages à niveau.	5,000
Les frais généraux, intérêts.	4,000
on arrivera à un total de	60,000

Il ne reste donc rien de disponible à appliquer à l'infrastructure. C'est-à-dire qu'un chemin qui ne donnera que 10,000 fr. de recettes brutes par kilomètre ne pourra donner que l'intérêt de l'argent appliqué à l'établissement de la superstructure.

Comment dès lors faire le chemin? Et d'abord je ne crois pas qu'on puisse faire des chemins d'intérêt local à moins de 100 à 150,000 fr. par kilomètre, par conséquent il faut l'aide du département, et lui demander suivant la loi du 12 juillet 1865 :

Ou une subvention égale à l'excédant de dépense à faire; ou bien qu'il se charge d'acheter les terrains, et d'exécuter les terrassements et les ouvrages d'art.

Cette formule est celle de la loi de 1842 pour les grandes lignes.

C'est elle qui a été appliquée à la construction des chemins d'Alsace, toutefois avec le concours de l'État, du département, des communes et des industriels intéressés.

Si le chemin ne doit pas donner 10,000 francs de recettes, et si le département tient à le construire, il faudra qu'en outre des concessions qui précèdent, il donne une nouvelle subvention proportionnelle à l'insuffisance des recettes; si au contraire les recettes excèdent 10,000 fr., il pourra, ou demander à la compagnie une soulte kilométrique s'il exécute les travaux, ou ne donner que les terrains et laisser la compagnie exécuter les terrassements et les ouvrages d'art. En combinant ensemble ces divers éléments on trouvera à coup sûr une solution.

Mais ce dont une compagnie doit avant tout s'assurer, ce sont les terrains. Elle doit les demander au département, car de toutes les dépenses de premier établissement, c'est la plus aléatoire. Il n'y a plus de limite aujourd'hui à l'avidité des propriétaires, il n'y a pas un paysan qui ne considère son champ comme le centre d'une capitale. Depuis que nous avons vu sur la ligne de Castres à Albi (chemin du troisième réseau) les champs de blé se vendre à raison de 45,000 francs l'hectare, ce qui a porté sur certaines portions de cette section le prix d'expropriation à 100,000 francs par kilomètre, toute prévision sur ce chef de dépenses est impossible.

Dans un même département, comme dans le réseau d'une des grandes

compagnies, il y aura des lignes productives, d'autres qui le seront moins; et de leur ensemble indivisible on fera une moyenne.

C'est dans ce sens que plusieurs départements ont fait étudier par les agents-voyers les classements des chemins d'intérêt local. Malheureusement il est à craindre que le fait qui s'est passé à la suite des concessions des grands réseaux ne se reproduise ici; il arrivera que des études préliminaires seront insuffisantes, que les prévisions des dépenses seront cotées trop bas, celles des recettes cotées trop haut et que les contrats qui résulteront de ces données ne provoquent des réclamations de la part des concessionnaires, et en présence souvent de l'impossibilité par les départements d'y satisfaire, les chemins ne se feront que péniblement ou ne se feront pas du tout.

On voit déjà trop dans les traités passés l'influence restrictive de l'administration locale.

Elle donne des subventions, mais elle impose des conditions onéreuses. Que penser en effet de la clause suivante insérée dans un cahier des charges : « Les tarifs de la compagnie concessionnaire devront être inférieurs de $0^{f}.02$ à tous ceux appliqués par la grande compagnie, dont le réseau traverse le département ? »

Si les réseaux secondaires des grandes compagnies ont peine, avec leurs recettes, à payer leurs frais d'exploitation, les départements devraient comprendre que les concessions de chemins d'intérêt local devant donner des produits encore moins élevés, il ne faut pas, par des exigences que rien ne justifie, empêcher tout essor. Il faut partout, dans les chemins à créer, éviter les doubles emplois et toute direction concurrente avec des lignes déjà établies. Tous les chemins d'intérêt local, doivent être des affluents des grands réseaux. Si les départements redoutent les bénéfices exagérés, la clause du partage des bénéfices après 8 à 9 pour 100 doit les rassurer.

Passons maintenant en revue quelques points de la construction, et voyons ceux sur lesquels il y a des économies à faire.

1° *Frais généraux, études.* — Les chemins d'intérêt local doivent autant que possible, comme on l'a déjà dit maintes fois, suivre les routes impériales ou départementales et se placer sur leur accotement. C'est la seule manière de les faire économiques et fructueux. Économiques, parce que c'est ainsi qu'on peut réduire au minimum les frais de premier établissement, et fructueux, parce que traversant des lieux habités, où le trafic existe déjà, rien de ce côté n'est à créer.

Dans de telles conditions par conséquent, les frais d'études et les frais généraux seront réduits à leur minimum;

2° *Acquisitions de terrains.* — J'insiste ici encore, pour que les terrains soient acquis par les communes intéressées, et donnés par conséquent à la compagnie concessionnaire. Les faits que j'ai signalés plus haut dispensent à cet égard de tout développement.

Je dois ajouter que plusieurs départements l'ont compris ainsi, et le département de l'Hérault entre autres, outre une subvention de 70,000 fr. par kilomètre accordée au concessionnaire, donne tous les terrains qu'il estime à 10,000 fr., ce qui porte la subvention à 80,000 fr. Mais je ne conseille à personne de prendre à forfait, pour cette somme, les acquisitions de terrains à faire.

3° *Terrassements, travaux d'art.* — Il y a peu de choses à dire ici : il est certain que ces dépenses résulteront du tracé adopté; et, quant au tracé, il est évident qu'on s'appliquera à suivre les routes, et quand on aura été obligé de s'en éloigner, il est évident aussi qu'on aura tout fait pour épouser le relief du terrain afin d'avoir le moins de terrassements à faire. Quant aux travaux d'art, c'est aussi en suivant le terrain qu'on pourra éviter les grands ouvrages : néanmoins, comme il faut toujours maintenir aux cours d'eau leur régime, c'est là la plus sérieuse dépense, et quoi qu'on fasse, on ne peut s'y soustraire qu'en empruntant le tracé des routes déjà exécutées.

Voilà pour l'infrastructure.

En ce qui touche la superstructure, qui comprend : 1° Les bâtiments des stations et maisons de garde; 2° le ballast et la pose de la voie; 3° le matériel de la voie et le matériel roulant, on peut en arrêter la dépense à quelques mille francs près, avant tout commencement d'exécution.

Il est bien entendu que pour les chemins d'intérêt local on n'établira tout d'abord ni clôtures, ni télégraphe.

4° *Bâtiments des stations.* — Ces bâtiments ne doivent être que de simples baraques en bois; un appentis peut être ménagé pour les voyageurs. Un quai de chargement des marchandises doit suffire; les halles couvertes doivent être l'exception. Quant aux passages à niveau, il n'est besoin que d'une guérite pour abriter le garde et d'une simple barre en bois soutenue par deux poteaux pour former la barrière. Dans ces conditions on ne doit pas dépasser 5,000 fr. par kilomètre pour ces travaux.

5° *Ballast.* — Le prix du ballast dépend des localités traversées, et de la proximité des ballastières de la ligne à construire. Il y a là une dépense aléatoire. Si le ballast doit coûter plus de 6 fr. le mètre courant, il faut s'en passer, et, dans les parties où il ne sera pas possible de descendre à ce prix, poser la voie directement sur le sol. Quand la ligne sera terminée et exploitée, si on peut se procurer du ballast à bas prix, alors et successivement on procédera au ballastage. Dans les voies américaines, les lignes ballastées sont l'exception.

6° *Rail.* — Le rail Vignole de 25 kilogrammes me paraît parfaitement suffisant; il permet la circulation des wagons pesant en tout 16 tonnes, soit 8 tonnes par essieu. Ce poids de 8 tonnes par essieu ne devra pas être non plus dépassé dans la construction de la locomotive.

Une voie avec rail de 25 kilogrammes peut être établie pour 30,000 fr.

par kilomètre. En ajoutant 20 p. 100 pour les voies de garage, plaques tournantes, aiguilles, grues d'alimentation, on a 36,000 fr. C'est une moyenne qu'on peut accepter et qu'on peut affirmer être suffisante.

7° *Matériel roulant.* — La compagnie concessionnaire doit avoir son matériel. Le chiffre de 10,000 fr. pris par M. Richard m'a paru faible; je l'ai porté à 15,000 fr. par kilomètre. M. Richard s'est beaucoup préoccupé du type de locomotives à adopter; je crois qu'il s'est exagéré la difficulté. Il me semble qu'avec des locomotives à deux essieux couplés de 8 tonnes chacune, soit de 16 tonnes en tout, ayant un écartement d'essieu de 2m.50, on peut passer avec un train de 5 à 6 voitures dans des courbes de 80 à 90 mètres de rayon à faibles rampes, et sur des rampes de 40 centimètres en ligne droite, ces mêmes machines pourront remorquer 50 tonnes brutes, c'est-à-dire 4 à 5 wagons. N'est-ce pas tout ce qu'il faut pour la plupart de ces chemins? Au besoin, on pourrait adopter des locomotives à trois essieux couplés.

Depuis une année bientôt, le chemin de fer du Midi exploite entre Montrejeau et Tarbes (dans les Pyrénées) une rampe de 0m.032, longue de près de 10 kilomètres, et il y affecte les machines locomotives à six roues couplées du type bourbonnais, sans qu'il en soit résulté aucun inconvénient. La rampe est montée avec deux locomotives, l'une en tête, l'autre en queue. Aucune disposition spéciale de matériel n'a été prise; en un mot, c'est avec le matériel même du réseau que la rampe est exploitée, et il ne s'est encore produit ni accident ni difficultés. Rien, du reste, ne fait prévoir aujourd'hui qu'il puisse en arriver.

Si on rencontre une rampe exceptionnelle de 8 à 10 centimètres, on pourra, dans cette partie, combiner le système Fell avec le type des locomotives ordinaires.

Frais d'exploitation. — Nous avons estimé à 6,000 fr. par kilomètre les frais d'exploitation; ce chiffre, qui est au-dessous de celui donné par les statistiques des grandes compagnies, est cependant acceptable, et, à coup sûr, on peut s'y renfermer pour les chemins de fer d'intérêt local.

Au chemin du Midi, la moyenne de ces frais, prise sur l'exploitation de 14 tronçons qui aboutissent aux deux artères principales, de Bordeaux à Cette et de Bordeaux à Irun, a donné, en 1866, avec une moyenne de 3 trains par jour dans chaque sens, 7,000 fr. par kilomètre, qui se décomposent comme suit :

1° Administration centrale et frais généraux. . .	1,002 fr.
2° Exploitation proprement dite.	2,214
3° Matériel et traction	2,407
4° Entretien et surveillance de la ligne.	1,380
Total	7,003

On voit tout de suite que, sur le premier chapitre, une réduction importante peut être faite; en effet, 500 francs de frais généraux doivent suffire pour les chemins d'intérêt local. Il ne doit pas non plus être difficile de réduire au moins 500 francs sur les trois autres chapitres, et de retomber ainsi sur le chiffre de 6,000 francs.

Citons, à l'appui de notre assertion, les résultats remarquables obtenus par M. Larpent, membre de cette Société, sur les chemins d'Utrecht à Zwolle, en Hollande, où il était arrivé à exploiter, en 1865, une ligne de 85 kilomètres et un embranchement de 13 kilomètres (voie de $1^m.45$), à raison de 4,040 fr. par kilomètre, avec 4 trains mixtes, dans chaque sens, en été, et de 3 trains en hiver.

Le prix de 4,040 francs se décompose comme suit :

1° Administration centrale, frais généraux.	$654^f.01$
2° Exploitation proprement dite..	945 .76
3° Matériel et traction.	1,041 .90
4° Entretien et surveillance.	1,398 .74
Total.	4,040 .41

M. Richard a indiqué dans son travail qu'on ne pouvait pas compter à moins de 2 fr. par kilomètre de train les frais d'exploitation. Ce chiffre est en effet vérifié par des dépenses semblables faites sur les grandes lignes. Je citerai encore l'exploitation des 14 tronçons de la Compagnie du Midi que j'ai pris pour exemple plus haut, et pour lesquels la dépense du train kilométrique se décompose comme suit :

1° Administration centrale et frais généraux.	$0^f.391$
2° Exploitation proprement dite.	0 .863
3° Matériel et traction.	0 .938
4° Entretien et surveillance de la ligne. . , ...	0 .538
	$2^f.730$

Ici encore on voit la possibilité de réduire de $0^f.73$ au moins la dépense par train, pour la ramener au chiffre cité par M. Richard; et si nous prenons les mêmes éléments dans l'exploitation des chemins d'Utrecht à Zwolle faite par M. Larpent, nous trouvons :

1° Administration centrale, frais généraux.	$0^f.035$
2° Exploitation proprement dite.	0 .572
3° Matériel et traction.	0 .530
4° Entretien et surveillance.	0 .395
	$1^f.532$

Dans toute exploitation les grosses dépenses sont le combustible et le renouvellement des rails.

Nous avons cité les frais d'exploitation du nouveau réseau du Midi; mettons en parallèle ceux de l'ancien réseau qui date déjà de quatorze ans, et nous verrons qu'il n'y a pas une grande différence entre eux et qu'il n'y a pas d'imprévu à redouter, si, partant de ces données, on veut calculer les dépenses des chemins d'intérêt local.

Dépense par train.

DÉSIGNATION DES DÉPENSES.	ANCIEN RÉSEAU.	NOUVEAU RÉSEAU.
	fr.	fr.
1° Administration centrale, frais généraux.....	0.365	0.391
2° Exploitation proprement dite............	0.948	0.863
3° Matériel et traction....................	0.938	0.938
4° Entretien et surveillance...............	0.563	0.538
	2.814	2.730

On voit par là que le nouveau réseau supporte, comme l'ancien, toutes les lourdes charges d'une grande compagnie, ce qui est juste; mais on conçoit que ces charges doivent diminuer considérablement, et qu'on doit s'appliquer par tous les moyens à les restreindre dans les petites entreprises.

Recettes. — Un mot maintenant des recettes. — Nous avons dit que les recettes des nouveaux réseaux, dans les grandes compagnies, étaient souvent insuffisantes pour payer les frais d'exploitation, et à plus forte raison insuffisantes pour payer l'intérêt du capital engagé. — Ce fait est très-vrai, et nous allons encore citer les lignes du nouveau réseau du Midi.

Sur les quatorze tronçons déjà signalés, nous en trouvons six pour lesquels les dépenses excèdent les recettes, et huit pour lesquels il y a un excédant des recettes sur les dépenses.

Si nous prenons la moyenne des recettes faites sur ces tronçons, dont la longueur totale était, en 1866, de 603 kil., et dont l'ouverture à l'exploitation, pour les plus anciens, date de huit ans, nous avons, dis-je :

Recettes nettes par kilom.	9,509f.98
Dépenses nettes —	7,004 .57
Différence	2,505f.41

Ce résultat n'est pas encourageant; mais si on observe que les concessions réclamées aux compagnies par l'État pour transport des postes, transports de la guerre, réduction des places militaires, prisonniers, etc., s'élèvent à environ. 3,000 00
ajoutant ces chiffres à l'excédant ci-dessus, on trouvera un total de. 5,505 41

Cette somme de 3,000 fr., qui est prélevée sur les grandes compagnies, ne le sera pas sur les chemins d'intérêt local; c'est donc une augmentation réelle sur laquelle on doit compter dans une certaine mesure si, pour estimer les recettes probables d'une ligne, on part des recettes analogues faites sur les réseaux secondaires exploités par les grandes compagnies.

Nous avons vu en commençant, qu'avec une recette nette de 3 400 fr. par kilom. on pouvait payer l'intérêt de la dépense de la superstructure; or, il y a en France beaucoup de chemins d'intérêt local, qui sont dans des conditions de trafic plus avantageuses que les lignes secondaires des troisième et quatrième réseaux des grandes compagnies : pour ces lignes donc, là où les grandes compagnies perdent, les petites entreprises peuvent gagner.

Chemin à voie réduite. — Une dernière question posée est celle-ci : faut-il faire les chemins d'intérêt local à voie réduite, de $0^{m}.80$ ou 1 mètre, et abandonner par conséquent tous les avantages que peut procurer au commerce la voie uniforme de $1^{m}.45$?

Je n'hésite pas à dire oui, si le chemin projeté à $1^{m}.45$ ne doit pas donner un produit rémunérateur.

La question du transbordement est accessoire, et comme l'a écrit M. Flachat dans son intéressant rapport sur l'Exposition de 1867, les frais de transbordement ne représentent en définitive, à $0^{f}.20$ par tonne, qu'une augmentation de parcours de 4 kilomètres.

Quant aux transbordements sur la voie de $1^{m}.45$, au point de soudure des réseaux de deux compagnies, ils sont beaucoup plus fréquents qu'on ne pense, et il n'y a pas de grande gare de bifurcation qui n'ait sa halle de transbordement, parce que chaque compagnie trouve souvent avantage à conserver son matériel sur son réseau, plutôt que de le voir en sortir. Comme dans ce cas les frais de transbordement sont à la charge des compagnies, leur intérêt justifie la mesure qu'elles prennent.

M. Molinos, dans une note intéressante qu'il vous a lue, vous a entretenu d'un chemin agricole qui ne lui a coûté que 28.000 fr. par kilomètre. Ce chemin a été fait, à coup sûr, dans les conditions les plus avantageuses; si donc avec 28 000 fr. on peut relier aux grandes lignes des localités qui manquent de moyens économiques de transport, et dont les recettes ne peuvent pas faire espérer de payer l'intérêt d'un capital plus élevé, pourquoi ne pas le faire?

Mieux vaut donner satisfaction aux intérêts commerciaux, avec des moyens même imparfaits, que de les abandonner complétement.

Le temps, du reste, achèvera l'œuvre commencée; si le trafic est rémunérateur, peu à peu la ligne primitivement construite sera améliorée. Si au contraire elle ne peut pas se soutenir, le capital engagé n'étant pas considérable, la perte sera limitée, et au besoin le matériel pourra être reporté ailleurs à peu près en entier.

Entre 28,000 fr., prix d'un chemin agricole, et 110,000 ou 150,000 fr., prix d'un chemin d'intérêt local, on peut donner satisfaction à bien des intérêts.

En résumé, nous estimons :

Que les chemins d'intérêt local ne doivent être entrepris par des compagnies qu'à la condition d'obtenir des départements :

1° La remise gratuite des terrains ;

2° Une subvention proportionnelle à l'excédant probable des dépenses d'exploitation sur les recettes ;

3° La liberté pour la compagnie de modifier les tarifs au-dessous d'un maximum ;

Et à l'obligation par cette compagnie :

1° De fournir tout le matériel fixe et roulant ;

2° D'exploiter suivant les besoins du trafic ;

3° De partager avec le département les bénéfices au-dessus de 8 à 9 pour 100 du capital engagé par elle.

Enfin nous pensons qu'il n'y a pas lieu de se renfermer d'une manière absolue dans la voie de 1m.45, et quand les ressources du trafic ne feront pas prévoir une recette rémunératrice du capital à dépenser pour établir une voie de cette dimension, il conviendra de descendre à 1m.00 et même à 0m.80.

NOTE

SUR LES

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL.

PAR M. WILHELM NORDLING.

La question des chemins de fer vicinaux ou d'intérêt local est plutôt une question d'exploitation que de construction, parce que l'on conçoit jusqu'à un certain point qu'en vue de leurs avantages indirects, l'État, les départements ou les communes en fournissent le capital sans rémunération, comme ils le font pour les routes et chemins vicinaux.

Voyons donc les conditions de leur exploitation.

D'après M. Jacqmin, l'exploitation des chemins de fer dits vicinaux de l'Alsace coûte à la Compagnie de l'Est 6 000 fr. par kilomètre, 8 000 fr. si on ajoute aux frais proprement dits le renouvellement du matériel fixe et roulant.

La Compagnie de Lyon arrive à peu près aux mêmes résultats pour les ramifications qui pénètrent dans les vallées de l'Auvergne. Or, dépenser 6, à 8,000 francs de frais d'exploitation pour des lignes dont le produit brut restera souvent au-dessous de ce chiffre, ce n'est point une solution !

Peut-on espérer réduire sensiblement ce minimum de frais d'exploitation et le ramener, par exemple, au chiffre de 3 000 francs indiqué par M. Richard ? A moins d'accuser les Compagnies de l'Est et de Lyon d'incapacité ou de mauvais vouloir, une pareille espérance semble absolument chimérique, car les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets. Je veux bien, dans l'hypothèse admise de petites compagnies distinctes et locales, qu'on réalisera encore quelques économies de détail, mais soyons sûrs d'avance que ces économies, d'ailleurs problématiques, seront au moins compensées par les frais généraux plus élevés des petites compagnies. On a dit ici que les frais généraux des petites compagnies seraient réduits en proportion ; mais c'est là un paradoxe en contradiction avec les enseignements journaliers de l'industrie. Du moment qu'on adoptera la voie de $1^{m}.50$ et qu'on empruntera le matériel des grandes lignes, on restera fatalement dans l'ornière. On aura beau stipuler dans les cahiers des charges, que les militaires, par exemple, payeront place entière ; que la poste ne sera pas transportée gratis. Il faut bien mal connaître l'esprit français et son amour de l'uniformité pour croire que ces

stipulations résisteront à l'action du temps et des exigences de tout le monde. A la première occasion, on révisera le contrat, et, sans attendre cette époque, on y verra des coupés réservés et des permis de libre parcours, comme sur les plus grands réseaux.

Donc, pas d'économie notable à espérer sur l'exploitation des voies d'embranchement de 1m.50 !

Mais ces embranchements rendent-ils au moins au public les services que celui-ci en attend ? Nous allons voir que non !

Prenons la ligne de Vitré à Fougères, de 37 kilomètres de longueur. Il y a deux départs de Fougères, à 6 heures 30 du matin et à midi ; et deux départs de Vitré, à 9 heures du matin et à 4 heures 40 du soir. Avec ce service, on ne peut pas aller de Vitré à Fougères et revenir le même jour, à moins de terminer ses affaires à Fougères en cinq minutes. On ne peut pas davantage aller de Rennes à Fougères (75 kilomètres dans le même département) et revenir le même jour. On n'arrive de Fougères à Laval (72 kilomètres) qu'à 4 heures et demie du soir. Tout cela se conçoit : sur les deux trains de l'embranchement, l'un est réglé sur Rennes, l'autre sur Paris, et cinq fois sur huit, on séjourne de deux à sept heures à la gare de bifurcation.

Sur les lignes d'Auvergne, entre Murat, Arvant et Langeac, on ne trouve également que deux trains dans chaque sens, et il en résulte des correspondances tellement imparfaites que des personnes de ma connaissance y suppléent avec des chevaux. Pourtant, dans l'intérêt des correspondances, l'un des deux trains n'arrive à Murat qu'à 10 heures du soir, et parfois même à 11 heures, ce qui, en hiver, ressemble passablement à un service de nuit.

Sur les lignes de la populeuse Alsace, le nombre des trains est de trois. Si ce nombre ne soulève pas de plainte, c'est que, par un heureux hasard, il n'y a là aucune correspondance de nuit à desservir ; car le train-poste arrive à Strasbourg à 7 heures du matin et en part à 5 heures du soir. Mais pour les embranchements situés à 200 ou 300 kilomètres de Paris, la situation serait tout autre.

Ce n'est pas la vitesse de marche, c'est la question des correspondances qui importe aux embranchements. Cette question s'aggrave tous les jours avec chaque nouvelle gare de bifurcation et menace de devenir insoluble. Pour bien la saisir, considérons un instant un omnibus reliant une ville à une gare de passage. A chaque train montant, à chaque train descendant, l'omnibus part de la ville et mène des voyageurs à la gare, puis il ramène en ville les voyageurs descendus du train. Pour chaque train, l'omnibus fait donc deux trajets. Pour assurer de la même façon la correspondance par voie de fer, *il faudrait faire circuler sur les embranchements un nombre de trains double de ceux de la ligne principale*. En réalité, c'est le contraire qui a lieu ! Pourquoi ? Parce que l'instrument consistant en *un train composé du matériel actuel est un instrument trop lourd et trop*

coûteux pour être mis en mouvement pour un nombre insignifiant de voyageurs et de colis. Il paraît évident qu'avec un matériel plus léger, on pourrait être moins parcimonieux pour le nombre de voyages : c'est la raison d'être de la brouette, du camion, du chariot, etc. Et ce qui est incontestable, c'est que ce plus grand nombre de trains tendrait à multiplier les voyageurs, tandis que sur les embranchements de Fougères et d'Auvergne on perd aujourd'hui forcément une partie du trafic.

Il est inutile d'insister sur le principe ; ce qui reste à examiner, c'est si réellement la voie étroite, soit la voie de 1 mètre, offrirait en pratique une différence suffisante pour s'intercaler utilement, dans l'échelle des instruments de transport, entre le chemin de fer de grande section et les routes de terre à traction de chevaux.

Je n'ai pas eu l'occasion de m'occuper de chemins vicinaux et ne puis donc offrir qu'une conception abstraite, une solution que j'entrevois. La voici :

J'adopterais le matériel dit américain, en usage en Suisse et dans le Wurtemberg, avec un corridor central, établissant une communication intérieure d'un bout à l'autre du train. Comme la plupart des voyageurs français, je trouve ce matériel passablement incommode avec la voie de 1m.50, parce que, pour utiliser la place, on a maintenu les siéges transversaux, avec deux places de chaque côté du corridor, ce qui, on le conçoit, rend les siéges et le corridor également étroits et insuffisants. Avec la voie de 1 mètre, les bancs seraient probablement longitudinaux, comme dans les omnibus, comme au chemin américain de Boulogne.

Avec ce système, le conducteur ferait aisément la recette en route, et le train en navette pourrait s'arrêter et recueillir des voyageurs et même des colis légers à peu près partout. Grâce à la légèreté du train, le frein de la machine ou la contre-vapeur suffirait pour l'arrêter; il n'y aurait plus ni garde-frein ni chefs de station. Aux localités plus importantes, un quai couvert à marchandises pourrait être établi en bordure de la voie principale, afin de réduire la perte de temps résultant du chargement dans les trains mixtes, qui seraient la règle. J'ai vu quelque part cette disposition sur le Nord-Est suisse, je crois, et sur quelques lignes de l'Allemagne du Nord. Le conducteur de l'omnibus ou du camion de la station ferait le pesage préalable des colis et aiderait à leur chargement, sans exclure d'ailleurs les wagons complets à prendre ou à laisser çà et là dans une gare disposée en demi-lune, avec la simplicité des anciennes gares de Bordeaux à la Teste. Je ne me lancerai pas dans l'évaluation plus ou moins hypothétique de ces frais d'exploitation; mais il me semble que la simplicité et l'originalité du système mériterait au moins un essai pratique, et exclurait à tout jamais l'assimilation avec le grand réseau.

L'économie notable qu'on peut espérer dans les frais d'exploitation se retrouverait à coup sûr dans les dépenses de premier établissement, car

elle porterait non-seulement sur tel ou tel chapitre insignifiant, tel que les clôtures, mais sur tous les chapitres à la fois.

En effet, l'acquisition des terrains serait facilitée par les petites courbes qui font éviter les grands talus et permettent de ménager les propriétés précieuses.

L'économie sur les terrassements et les ouvrages d'art résulterait non-seulement du tracé le plus favorable obtenu avec les petites courbes, mais encore de la moindre dimension en hauteur et en largeur des ouvrages supérieurs et inférieurs, et de la moindre charge des tabliers métalliques. La moindre hauteur sous clef des ouvrages supérieurs est un élément important encore à cet autre point de vue qu'elle dispensera de la multiplication systématique des passages à niveau.

Enfin, les réductions à faire sur la voie et les bâtiments sont trop reconnues pour que j'y insiste; mais il me reste à dire un mot sur les gares communes et les moyens d'y accéder. Il est clair que le prolongement des embranchements à petite voie jusque dans l'intérieur de ces gares entraînerait souvent de très-grandes dépenses; mais cette difficulté serait tournée « par le troisième rail, » qu'on a vu longtemps dans les gares badoises et ailleurs, avant l'unification complète du grand réseau. Le troisième rail serait ajouté, sur les grandes voies, dans l'intervalle entre les gares de bifurcation et la bifurcation effective.

Je crois vraiment que, dans beaucoup de cas, des chemins de petite section pourraient être établis à raison de 50 à 70 mille francs par kilomètre, tout compris.

A cet égard, je demanderai à citer ici, parmi les chemins économiques de France, la ligne de Bourges à Montluçon, qui a été largement installée, en vue d'un trafic considérable, et qui parcourt un pays qui n'appartient pas aux plus faciles. Elle a coûté, telle qu'elle est, 135,185 francs par kilomètre sur sa longueur entière de 101 kilomètres; 119,564 francs pour les 30 kilomètres compris entre Montluçon et Urçay, savoir :

Études, personnel et frais généraux. . .			7,589 fr.
Terrains.			20,797
Terrassements et ouvrages d'art. . . .			38,049
Ballastage et pose.			8,785
Matériel	de voie	28,218	31,271
	fixe	3,053	
Bâtiments	stations	7,549	11,448
	passages à niveau.	3,899	
Clôtures, télégraphe et divers.			1,625
		Total. . .	119,564 fr.

Tous ces chiffres (dont la justification détaillée se trouve dans le compte rendu statistique que j'ai remis à la Société) sont des moyennes de la

ligne entière, sauf pour les terrassements et ouvrages d'art, dont la ventilation a été faite pour la portion de Montluçon à Urçay.

J'estime que si les terrassements et les ouvrages d'art avaient été exécutés pour une voie au lieu de deux, et si la voie avait été réduite au prix de 18 francs le mètre (chiffre de M. Richard), au lieu de 24 fr. 70 c. qu'elle a coûté avec rails de 36 kilogrammes, la dépense kilométrique serait descendue à 103,000 francs.

Et si, au lieu de rayons de 500 mètres et de déclivités de $0^m.005$, on avait admis des rayons de 300 mètres et des pentes de $0^m.010$, la dépense n'aurait certainement pas atteint 90,000 francs (matériel roulant non compris).

En présence de ce chiffre, je n'éprouve ni méfiance à l'endroit des comptes présentés par M. Debauge pour son embranchement de Vitré à Fougères, ni enthousiasme pour le projet de M. Richard.

Ni l'un ni l'autre ne réalisent à mes yeux l'idéal du chemin de fer vicinal que, si j'avais à le poursuivre, je chercherais dans le programme que je livre aux attaques de mes collègues. Il me semble d'une réalisation plus facile que bien des problèmes qui ont été résolus pratiquement, et je crois qu'une fois réalisé, il ferait oublier bien vite l'inconvénient du transbordement : aux exploitants, par le développement du trafic, et au public, par le bienfait des départs fréquents.

NOTE

SUR

UNE MACHINE A AMMONIAQUE

Par M. FROT.

I

Depuis bien longtemps déjà on a cherché à remplacer la vapeur d'eau dans les machines motrices par un agent plus économique, et malgré les nombreuses déceptions qui ont accompagné la plupart des essais faits jusqu'à ce jour, les chercheurs ne se sont pas découragés. C'est qu'en effet, messieurs, bien que les machines à vapeur d'eau aient permis de réaliser un immense progrès en se substituant aux moteurs animés, on les trouve encore bien imparfaites quand on songe que les meilleures, celles qui ne consomment qu'un kilogramme et demi de charbon par cheval et par heure, ne permettent d'utiliser que le 1/18 du calorique développé dans le foyer.

Le rapport de la quantité de chaleur utilisée à la quantité de chaleur réellement dépensée, rapport auquel on a donné le nom de coefficient économique, peut-il changer avec le gaz qu'on emploie? autrement dit, peut-on espérer un meilleur rendement d'une machine à air, à vapeur d'alcool, à gaz ammoniac, que d'une machine à vapeur d'eau? Beaucoup d'esprits sérieux l'admettent volontiers. Néanmoins, des objections ont été faites, et, parmi ces objections, il en est une qui emprunte aux personnes qui l'ont mise en avant un caractère de gravité considérable.

Présentée d'abord par M. Verdet dans le cours des deux leçons qu'il a publiées il y a quelques années sur la théorie mécanique de la chaleur, elle a été reprise ensuite par M. Combes et développée dans un rapport que ce savant fit à la Société d'encouragement, il y a trois ans.

Émanant d'autorités aussi respectables, elle a séduit beaucoup de gens, et a jeté une sorte de défaveur sur toute la série d'inventions, et elles sont nombreuses, qui ont eu pour but la recherche d'un agent plus économique que la vapeur d'eau.

Je vais donc, messieurs, reprendre cette objection, à laquelle il me paraît facile de répondre, afin de détruire tout d'abord des préventions que les explications que j'ai à vous donner ensuite ne parviendraient peut-être pas à vaincre.

Supposons deux machines d'égale force, l'une à vapeur d'eau, l'autre à vapeur d'alcool; elles sont toutes deux réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent marcher à contre-sens en puisant dans le condenseur, au moyen du vide, de la chaleur qu'elles renvoient à la chaudière. Accouplons-les de telle sorte que l'une soit la puissance, l'autre la résistance. Dans l'une des machines, nous dépensons N calories, pour faire K kilogrammètres; dans la seconde nous dépensons les K kilogrammètres précédemment obtenus, et nous reproduisons les N calories.

Par un effort d'imagination, un peu héroïque peut-être, mais qui n'a rien de contraire à ce que nous enseigne la science, identifions les deux foyers d'une part, les deux condenseurs de l'autre, c'est-à-dire faisons un seul foyer des deux foyers, un seul condenseur des deux condenseurs. Dans le système ainsi conçu, on a un travail nul. Admettons maintenant que dans l'une des deux machines, la machine à alcool, par exemple, le coefficient économique ait une valeur plus considérable que dans l'autre; il arrivera de deux choses l'une : ou ce sera la machine à vapeur d'eau qui sera le moteur, et alors il y aura un transport incessant de chaleur du foyer au condenseur, ou bien elle sera menée par l'autre, et, inversement, il y aura un courant continu de chaleur allant du condenseur au foyer, c'est-à-dire d'un corps froid à un corps chaud, sans qu'il y ait production de travail; c'est là le résultat que l'on ne veut pas admettre[1].

Pourquoi? C'est que, dit M. Verdet, dans tous les faits physiques que nous avons été appelés à expérimenter, nous n'avons pas vu de la chaleur passer d'un corps froid à un corps chaud.

Mais dans quelles conditions se fait dans l'ordre physique cet échange de température? Par conductibilité ou par rayonnement. Or, y a-t-il, dans le cas que nous examinons, analogie avec l'un ou l'autre de ces deux phénomènes? Les deux corps de température inégale, foyer ou condenseur, ne peuvent échanger leurs températures ni par voie de conductibilité : ils ne se touchent pas; ni par voie de rayonnement : des corps opaques les séparent complétement.

Il n'y a donc pas lieu de chercher là aucune analogie avec les lois que nous connaissons sur les divers modes de transmission de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid; et l'objection se réduit simplement au transport de chaleur d'un corps à un autre, sans qu'il y ait production ou dépense de travail. Or il n'y a rien là qui ne soit en parfait accord avec la théorie de la chaleur. D'après cette théorie, que tout le monde

1. M. Verdet, page 73.

admet aujourd'hui, ce n'est pas dans un déplacement de chaleur qu'on cherche la source du travail créé, mais uniquement dans une annihilation, ou plutôt dans une transformation de chaleur en travail.

Des N calories qui sont enlevées à la chaudière par la vapeur, on n'en retrouve qu'un certain nombre N' au condenseur (abstraction faite des pertes extérieures dues au refroidissement) et la différence *n* seule représente intégralement l'équivalent du travail créé, lequel est complétement indépendant de la quantité N dont la plus grande partie se trouve entièrement perdue sans aucune compensation.

Reprenons notre première hypothèse : admettons seulement que foyers et condenseurs soient séparés, et supposons avec mes savants contradicteurs que les deux coefficients économiques soient les mêmes. Dans ce cas, la machine à alcool étant motrice, la machine à eau résistante, qu'arrivera-t-il ? Le travail total sera nul à chaque instant. Les K kilogrammètres produits dans la machine à alcool où *n* calories auront disparu seront dépensés dans la machine à eau, où reparaîtront les *n* calories correspondantes, et le résultat final sera un travail nul et un transport de *n* calories de la chaudière alcool à la chaudière eau, c'est-à-dire d'un corps froid à un corps chaud. Car il nous est facile d'admettre que, dans ces deux machines d'égale puissance, la chaudière alcool est à une température plus basse que la chaudière eau.

Vous le voyez donc, messieurs, le transport de chaleur d'un corps froid à un corps chaud ne résulte pas seulement de l'inégalité des coefficients économiques; nous le retrouvons également dans l'hypothèse contraire.

Je serais fort embarrassé, messieurs, s'il me fallait combattre sur leur propre terrain ces maîtres de la science. Heureusement pour la cause que je défends, ce n'est ni dans les nouvelles théories, ni dans les lois rigoureuses des sciences mécaniques et physiques qu'ils ont cherché leur objection. C'est une probabilité qu'ils ont mise en avant, et cette probabilité, appuyée par de tels noms, est devenue une certitude pour beaucoup de leurs admirateurs. Voici ce qu'on lit dans les leçons de M. Verdet sur la théorie mécanique de la chaleur : « *Si ce résultat* (le déplacement de chaleur d'un corps froid à un corps chaud, sans production ou absorption de travail), SI CE RÉSULTAT N'EST POINT UNE ABSURDITÉ COMPARABLE A LA RÉALISATION DU MOUVEMENT PERPÉTUEL, *il est en contradiction directe avec la loi la plus générale que nous ait apprise l'étude de la chaleur, et* IL EST BIEN SUFFISANT *pour rendre tout à fait inadmissible l'hypothèse qui y conduit.* »

SI CE RÉSULTAT N'EST POINT UNE ABSURDITÉ COMPARABLE A LA RÉALISATION DU MOUVEMENT PERPÉTUEL......... Dans la science, messieurs, il n'y a pas d'absolu relatif : un résultat est vrai ou faux, et il suffit qu'un homme comme M. Verdet n'admette pas l'absurdité absolue d'un fait, pour que ce fait soit théoriquement possible. Et notez bien, messieurs,

que je ne cherche pas, pour le moment, à démontrer autre chose, à savoir que rien ne prouve *à priori* l'impossibilité de trouver un agent plus économique que la vapeur d'eau.

Dans un rapport à la Société d'encouragement, M. Combes, discutant le même résultat, le condamne en des termes où l'on remarque la même hésitation. Il s'exprime ainsi :

Ce passage incessant de chaleur d'un corps plus froid à un corps plus chaud, SANS AUCUNE CAUSE, SEMBLE *impliquer avec les phénomènes naturels une contradiction qui nous* RÉPUGNE *tout autant que l'idée d'une création gratuite de travail, de chaleur, de force vive. On est ainsi conduit à rejeter comme irréalisable une hypothèse qui entraîne une telle inconséquence, et à conclure que le mode de partage d'une quantité de chaleur Q, prise au foyer en deux parties... reste la même... quelle que soit la nature du corps employé.*

Ce n'est pas là, messieurs, le langage absolu de la théorie, et l'on sent l'embarras dans lequel s'est trouvé le savant ingénieur lorsqu'il a voulu démontrer rigoureusement un principe qui paraît le séduire, mais auquel la science refuse de donner sa sanction.

Ainsi, messieurs, je crois vous avoir montré d'abord, que ces objections qui ont prévenu contre certaines inventions les esprits les plus sérieux et les plus pratiques, sont loin d'avoir été puisées dans la théorie mécanique de la chaleur, ensuite que ces objections se trouvent même en contradiction avec cette théorie.

Permettez-moi, messieurs, avant de passer à un autre ordre d'idées, de terminer cette réfutation par deux exemples saisissants d'un transport de calorique, n'entraînant ni perte ni production de travail.

Considérons le volant que nous installons dans la plupart de nos machines fixes pour régulariser leur mouvement. Ne savons-nous pas qu'il renferme en lui un certain approvisionnement de travail, dont nous représentons l'équivalent par la moitié de sa force vive; et ce travail, ne pouvons-nous pas, à un instant donné, au moment précis où nous en avons besoin, le retrouver en entier, soit sur l'arbre moteur, soit dans les frottements, et cela sans qu'il nous vienne à l'esprit de supposer qu'il puisse en disparaître la moindre parcelle en route; or ce travail c'est de la chaleur, et cette chaleur se transporte donc intégralement du volant sur d'autres points, et cela tout à fait gratuitement.

Voici, messieurs, mon second exemple, et c'est par lui que je veux clore cette discussion.

Prenez un boulet, imprimez-lui une vitesse V, vous serez obligé de dépenser pour cela un certain travail représentant une quantité donnée de calories. Le boulet ne continuera-t-il pas à se mouvoir indéfiniment dans l'espace avec cette même vitesse, s'il n'est soumis à aucune influence perturbatrice? Or, cette vitesse est précisément la manifestation extérieure, la mesure exacte de la chaleur prise à l'origine; et cette chaleur se transportera à des millions de lieues sans que nous puissions

admettre, à moins de renverser complétement les lois fondamentales de la mécanique, que, par le fait même de la continuation du mouvement, c'est-à-dire du transport de cette chaleur, il puisse s'en perdre en route. Et si, à une distance très-grande, ce boulet rencontre un obstacle qui lui fasse perdre sa vitesse en le réduisant au repos absolu, ne restituera-t-il pas en entier à cet obstacle le travail qu'on aura dépensé à l'origine pour lui imprimer sa vitesse? Or ce travail, qui est représenté par l'expression $1/2\ mv^2$, n'est autre chose qu'une certaine quantité de chaleur qui se trouve ainsi transportée gratuitement d'un corps à un autre, à des distances infinies, sans aucune perte de travail.

Je me résume, messieurs : ce n'est pas un déplacement de chaleur sans création de travail, ce serait, au contraire, ce déplacement accompagné d'une création de travail qui serait contraire à ce que nous connaissons sur l'équivalence de la chaleur et du travail. Rien donc dans la théorie ne nous autorise à rejeter *à priori* les découvertes qui ont eu pour but de substituer à l'eau un agent plus économique et nous pouvons, sans parti pris, examiner si, parmi les divers essais tentés jusqu'à ce jour, il en est qui aient pu approcher de la solution.

Je ne veux pas, bien entendu, faire l'historique de ces essais, je vais seulement rappeler ici ceux qui ont eu le plus de retentissement.

Les investigations ont porté principalement sur deux séries distinctes de machines : les machines à air chaud et les machines à vapeurs combinées.

La machine à air chaud est celle que la théorie présente comme devant donner les résultats économiques les plus satisfaisants. Il n'est pas besoin, en effet, de dépenser, pour donner à l'agent moteur la forme gazéiforme qui paraît indispensable, cette énorme quantité de calorique que, sous le nom de calorique latent, on est obligé d'incorporer dans l'eau pour la transformer en vapeur et lui permettre de produire l'effet utile.

Malheureusement la pratique est venue révéler de graves difficultés. On ne peut pas porter l'air à une température de plus de 180° sans crainte de faire gripper les surfaces frottantes. Ainsi échauffé, l'air ne voit pas sa pression augmenter de plus de moitié. En d'autres termes, un litre d'air envoyé par la pompe alimentaire dans la chaudière ne donnera qu'un litre et demi de gaz sous la même pression. Il en résulte que l'alimentation seule absorbera nécessairement les 3/5 au moins du travail total. Si l'on réfléchit en outre que, dans les meilleures machines, un cinquième au moins de ce travail est annihilé par les résistances passives, on en conclut que le cinquième seulement au plus du travail brut pourra être utilisé. Une machine de 20 chevaux indiqués ne pourra pas produire plus de 4 chevaux utiles. Et voyez, messieurs, quelles perturbations pourra apporter dans le jeu d'un semblable système une augmentation,

si faible qu'elle soit, dans les résistances passives, qui pourront parfois annihiler complétement l'utilisation de la machine.

Remarquez, messieurs, que je signale non une impossibilité, mais un obstacle ! C'est en effet la pierre d'achoppement contre laquelle sont venus se briser la plupart du temps les conceptions les plus ingénieuses, les efforts les plus persévérants.

La machine à vapeurs combinées se composait de deux cylindres spéciaux mus, l'un par la vapeur d'eau produite à la manière ordinaire, l'autre par la vapeur d'alcool, d'éther, de chloroforme, d'esprit de bois, etc. La chaudière dans laquelle on produisait cette dernière empruntait sa chaleur à la condensation même de la vapeur d'eau.

Cette machine a donné des résultats réellement économiques. Malheureusement les vapeurs d'alcool, d'éther, etc., sont très-lourdes, se dissipent par conséquent difficilement dans l'atmosphère, et sont inflammables; de là des craintes continuelles d'explosion et d'incendie qui ont dû faire abandonner à peu près complétement un moteur dont on avait espéré et même obtenu un très-bon rendement.

Aux deux groupes de machines dont l'un comprend les machines mues par des gaz envoyés directement à l'état gazeux dans la chaudière pour y être portés à une haute température, dont l'autre embrasse tous les moteurs alimentés par des vapeurs dégagées, dans la chaudière même, des liquides destinés à les former, on pourrait joindre un troisième groupe, celui des machines mues par des gaz envoyés dans la chaudière à l'état de dissolution et dégagés de leur dissolution par l'intermédiaire de la chaleur.

Dans les machines du premier groupe, on dilate simplement les gaz moteurs; dans le second on vaporise des liquides; dans le troisième on fait intervenir l'affinité chimique, on défait une dissolution. C'est de ce dernier groupe que je vais maintenant avoir l'honneur de vous entretenir.

Si diverses tentatives ont été faites sur des moteurs de ce dernier groupe, aucune, que je sache, n'a eu un retentissement suffisant pour être connue du public. Pour moi je n'en connais pas, et je dois me borner par conséquent à vous parler de la machine à ammoniaque que j'ai établie et qui va faire maintenant le sujet exclusif de la seconde partie de cette communication.

II

Toutes les recherches que j'ai faites depuis près de cinq ans et qui m'ont conduit à construire la machine que plusieurs d'entre vous, messieurs, ont vue fonctionner à l'Exposition, ont été basées sur le principe fondamental que voici : *La chaleur latente de dissolution du gaz ammoniac dans l'eau est la somme algébrique de la chaleur latente de liquéfaction du gaz ammoniac et de la chaleur, positive ou négative, développée par la combinaison du gaz et de l'eau.*

Je m'explique. Prenons 10 kilogrammes d'eau d'une part, et 1 kilogr. de gaz ammoniac de l'autre, mettons-les en présence ; il va y avoir ce qu'on appelle communément dissolution du gaz ammoniac dans l'eau, et production d'un certain nombre de calories qui constituent ce que je nomme la chaleur latente de dissolution. Faisons cette opération d'une manière un peu plus compliquée, de façon cependant à arriver au même résultat. Comprimons le gaz de manière à amener la liquéfaction; il va se dégager par le fait de cette opération une certaine quantité de chaleur. C'est ce qu'on a appelé la chaleur latente de liquéfaction. Mettons maintenant ce kilogramme de gaz ammoniac liquéfié en présence de l'eau; il y aura combinaison et production positive ou négative d'une certaine quantité de chaleur. Or, le résultat définitif sera le même que tout à l'heure; et la quantité de chaleur qu'on constatera à la fin de l'opération sera évidemment la chaleur latente de dissolution. C'est aussi, comme on le voit, la somme algébrique des deux quantités de chaleur produites successivement.

Ce principe admis, il n'y avait plus à se préoccuper du chiffre de 515 calories donné par les physiciens comme représentant la chaleur latente de liquéfaction du gaz ammoniac et il y avait lieu de rechercher à nouveau la quantité de chaleur dégagée directement par sa dissolution dans l'eau. On sait, en effet, que toute action chimique est la source d'une production ou d'une absorption de calorique, et si la combinaison du gaz ammoniac et de l'eau donne lieu à une absorption de chaleur, la chaleur latente de dissolution se trouvera inférieure d'autant au chiffre de 515 calories.

Je dus donc d'abord faire des expériences de calorimétrie dans le but de déterminer directement la chaleur latente de dissolution du gaz ammoniac dans l'eau.

Les moyens limités dont je disposais ne me permettaient pas de rechercher un chiffre rigoureusement exact; je me contentai de fixer un maximum suffisant pour la pratique. Je fis faire un appareil du genre le plus simple. De l'ammoniaque liquide du commerce, marquant 22° au pèse-alcali volatil, est introduit dans un ballon en verre placé sur un fourneau. Sous l'action de la chaleur, le gaz se dégage mélangé d'un peu de vapeur d'eau, et vient circuler dans un serpentin entouré de glace concassée dont les interstices sont remplies par de l'eau. La vapeur d'eau se condense, et l'eau qui en provient se réunit dans une sorte d'ampoule placée à la partie inférieure du serpentin et munie d'un robinet pour permettre de la vider de temps en temps. Le gaz ammoniac ramené à 0° et purgé de la vapeur d'eau qui l'accompagnait, se rend dans un dernier flacon, qu'on a au préalable rempli à moitié d'eau distillée. Ce flacon est placé dans le calorimètre rempli de glace cassée en menus morceaux. A la partie inférieure du calorimètre, une tubulure garnie d'un robinet permet de recueillir à chaque instant l'eau provenant de la fusion de

la glace. Le tout est d'ailleurs plongé dans un grand réservoir rempli de glace, afin de soustraire autant que possible l'opération à l'influence du réchauffement extérieur. On voit qu'il suffit de peser le vase où se fait la dissolution avant et après l'opération pour avoir exactement la quantité de gaz dissous. La quantité de glace fondue dans le calorimètre donne d'autre part la chaleur dégagée pendant l'opération.

Tout l'appareil étant disposé à 11 heures, on le laissait fonctionner à vide jusqu'à 2 heures, pour dégager les influences extérieures, par la quantité de glace fondue pendant ces 3 heures dans le calorimètre (juillet et août 1862). On chauffait à 2 heures et l'on continuait jusqu'à 5 heures.

Comme je l'ai dit tout à l'heure, je n'avais ni les moyens matériels, ni l'expérience suffisante pour chercher à établir un chiffre scientifique; je cherchais seulement un chiffre pratique. Or, toutes les expériences que j'ai faites m'ont donné des nombres compris entre 92 et 126 calories.

On voit, en ne considérant que le maximum (126), que la chaleur latente de dissolution du gaz ammoniac dans l'eau n'est guère que le 1/5 de la chaleur latente de vaporisation de l'eau (606,5).

Je dus porter ensuite mes investigations d'un autre côté. Des expériences nombreuses et précises permettent de déterminer la pression correspondante à une température quelconque lorsqu'il s'agit de l'eau pure. Je ne trouvais rien de semblable en ce qui concerne la dissolution ammoniacale. Je fus donc obligé de chercher dans le laboratoire une formule indiquant la relation qui existe entre les températures et les pressions en vase clos. Là encore, j'eus recours à un appareil très-élémentaire, suffisant néanmoins pour me permettre d'établir une formule empirique qui pût donner des résultats assez approchés de la vérité pour être admis dans la pratique.

Un petit tube en verre, divisé en centimètres cubes, fut renversé dans un autre tube à parois épaisses, rempli au tiers de mercure. Par-dessus le mercure, on versa jusqu'aux deux tiers de la hauteur de l'ammoniaque liquide dans lequel on plaça un thermomètre, et l'on ferma l'extrémité du tube à la lampe. Le tout fut plongé dans une large éprouvette pleine d'eau qu'on maintenait à une température quelconque, au moyen d'eau entretenue bouillante dans le laboratoire.

Le petit tube intérieur, faisant office de manomètre à air comprimé, indiquait à chaque instant la pression produite par le gaz ammoniac dégagé sous l'influence de la chaleur. Le thermomètre accusait la température correspondante.

Je déduisis de ces expériences la formule empirique :

$$P = 1,1 - 0,035\,t \times 0,001\,t^2,$$

formule qui, pour des pressions restreintes, peut être remplacée par la formule :

$$P = -5,5 + 0,13\,t.$$

En faisant quelques applications, on trouve que l'ammoniaque ordinaire du commerce bout à 50° et donne lieu à une pression de 6 atmosphères à la température de 89°. On voit donc que l'ammoniaque donne des pressions très-élevées à des températures relativement basses, d'où la certitude d'obtenir une grande économie de temps dans la mise en marche d'une machine à ammoniaque.

Pendant que je poursuivais ces expériences, je cherchais à me rendre compte de l'action que l'ammoniaque peut exercer sur les métaux employés dans la construction des machines.

Je dus renoncer tout d'abord au cuivre qui, sous l'influence du gaz ammoniac, est rapidement détruit en se transformant en azoture de cuivre. Mais ce métal n'est pas indispensable et peut être facilement remplacé par le fer et la fonte.

J'ai pris quatre flacons dans lesquels j'ai mis de l'eau pure, de l'eau salée, de l'ammoniaque liquide, et de l'eau salée additionnée de quelques gouttes d'ammoniaque. De la limaille de fer plongée dans ces flacons fut, après un temps très-court, complétement détruite dans l'eau pure et l'eau salée; elle conserva indéfiniment son poli sans changer de poids dans l'ammoniaque liquide. Enfin elle ne commença à s'oxyder dans l'eau salée additionnée de quelques gouttes d'ammoniaque qu'un an environ plus tard, et je pus constater alors que le peu de gaz en dissolution s'était évaporé.

A ce propos, messieurs, permettez-moi de vous raconter un fait qui se produisit dans le cours de mes essais, et qui vous fera apprécier mieux encore cette innocuité parfaite de l'ammoniaque sur le fer.

Au mois de décembre 1866, on avait, pour visiter l'intérieur de la chaudière, ouvert la porte autoclave. Comme on travaillait le soir, on avait placé sur le ciel du foyer un chandelier en fer battu. Lorsqu'on refit les joints, le chandelier fut oublié; je le trouvai au mois de juillet à la même place mais renversé. Il était donc resté plus de 6 mois sur le ciel du foyer, c'est-à-dire dans l'endroit le plus exposé à la chaleur, et, malgré cela, il était aussi net que le premier jour.

Voici, messieurs, les conclusions que j'ai dû tirer de ces études préliminaires:

1° Le rapport des deux chaleurs latentes, de dissolution du gaz ammoniac dans l'eau et de liquéfaction de la vapeur d'eau, étant de près d'un cinquième, l'emploi du gaz ammoniac devait nécessairement présenter en marche normale une très-grande économie;

2° La mise en pression et en marche d'une machine à ammoniaque est très-rapide et n'exige que la moitié du temps nécessaire avec la vapeur d'eau. Ce temps est nécessairement très-variable avec la forme de la chaudière, la surface de chauffe, la longueur du parcours des gaz, la quantité de liquide contenue dans la chaudière, etc. Avec la chaudière qui était à l'Exposition, on arrivait à la pression de 6 atmosphères après

une demi-heure de chauffe, quand, avec de l'eau pure, il fallait une heure; et si, avec certaines formes actuelles, on a, en se servant d'eau pure, 6 atmosphères en 20 minutes, l'emploi de l'ammoniaque permettrait d'obtenir la même pression en moitié moins de temps, c'est-à-dire en 10 minutes;

3° Grâce à l'innocuité parfaite de l'ammoniaque sur le fer, la durée des chaudières se trouve prolongée indéfiniment. Tout le monde sait en effet combien peu de temps durent les chaudières à vapeur. Une chaudière constamment en service exige toujours une réparation importante au bout de 6 ans au plus et doit être remplacée après 8 ans de travail au maximum. L'intérieur de la tôle en effet s'oxyde rapidement sous l'influence de l'eau portée à une température élevée; et dans les chaudières marines entre autres, alimentées par l'eau de mer, cette oxydation est tellement rapide, qu'on ne peut jamais leur assigner une durée de plus de 6 ans. Avec l'ammoniaque, l'intérieur de la chaudière n'éprouvera jamais la moindre altération, et l'usure n'aura plus lieu qu'à l'extérieur.

Je ne vous ai pas encore parlé, messieurs, de la facilité d'absorption du gaz ammoniac par l'eau. Tout le monde connaît cette expérience de laboratoire qui consiste à introduire de l'eau dans une éprouvette remplie au préalable de gaz ammoniac sur la cuve à mercure. Le gaz se dissout dans l'eau avec une telle violence que l'éprouvette est brisée. Je dois avouer que cette expérience, tout en me rassurant beaucoup, était loin de me satisfaire complétement. Autre chose en effet est de dissoudre quelques centimètres cubes de gaz, autre chose est d'en faire absorber des milliers de litres par heure. Dans la machine qui figurait au Champ de Mars, il y avait, par minute, 5000 litres de gaz mis en présence de l'eau au sortir du cylindre. C'était là certainement la question qui me préoccupait le plus quand je commençai à faire l'application de mon système sur une première machine. Il y avait à craindre en effet que le gaz arrivant en si grande abondance ne fût pas absorbé avec cette rapidité qu'on constatait dans le laboratoire. Je dois dire que l'expérience vint dissiper complétement mes inquiétudes à cet égard. Pendant trois mois et demi, du 18 juillet au 3 novembre, la machine a fonctionné d'une manière continue au Champ de Mars, et nulle perte de gaz ne s'est accusée : la marche était régulière et le titre de la dissolution ne diminua pas pendant ce long intervalle.

Je dois aborder maintenant une question importante, qui a donné lieu à l'objection la plus grave qui ait pu être faite dans le principe contre mon système : je veux parler des fuites. On comprend tout de suite que l'économie du combustible étant l'objectif principal que je me suis proposé, il est de toute nécessité que le gaz ammoniac substitué à la vapeur d'eau ne se perde pas. Dans le jeu régulier de la machine, le gaz, continuellement absorbé par l'eau, se retrouve intégralement; mais il pourrait s'en échapper par des fuites ; il en résulterait deux inconvénients : d'a-

bord la perte de gaz pourrait arriver à compenser l'économie réalisée sur le charbon; en second lieu, le gaz agirait sur les organes olfactif et visuel et sur les poumons de telle sorte que le service de la machine deviendrait impossible.

Les pertes peuvent provenir de deux sources différentes : des joints fixes ou des presse-étoupes. Quand une machine est faite et ajustée avec soin, tout le monde sait que les joints fixes ne sont pas à craindre. Il n'en est pas de même des presse-étoupes par lesquels on voit presque toujours, dans les moteurs à vapeur actuels, s'échapper quelques filets de vapeur. J'aurais donc été obligé de modifier profondément les dispositions des presse-étoupes, si l'ammoniaque s'était comportée de la même manière que l'eau. Heureusement, messieurs, il n'en est pas ainsi : le gaz ammoniac saponifie les huiles et les graisses, qu'il transforme en un savon onctueux assez liquide, grâce à la présence constante d'un peu de vapeur d'eau toujours mélangée au gaz, pour lubrifier parfaitement les surfaces frottantes, et ayant assez de consistance pour s'opposer complétement au passage des gaz.

Il n'est pas sans intérêt d'examiner à ce propos ce qui pourrait arriver dans le cas où un accident se produirait. Prenons d'abord le cas le plus grave, à savoir une explosion de chaudière. Constatons en passant que les chances d'explosion sont considérablement diminuées, par le fait même de la permanence nécessaire de l'alimentation : vous savez tous en effet, messieurs, que la grande majorité des explosions sont produites à la suite d'un arrêt trop prolongé dans le fonctionnement de la pompe alimentaire. Cette constatation faite, supposons néanmoins qu'une chaudière à ammoniaque fasse explosion. Quand cet accident arrive à un générateur à eau, la vapeur et le liquide bouillant causent plus de mal que les éclats mêmes qui sont projetés au loin, et il n'est pas rare de voir tout le personnel de la machine tué par asphyxie. Les poumons sont brûlés par la vapeur et l'eau qui s'échappent de la chaudière. Avec l'ammoniaque, je ne prétends pas dire que le danger sera nul, mais je crois qu'on peut prévoir qu'il sera moindre. Si l'eau est ramenée à une température très-voisine de 100° au contact atmosphérique, l'ammoniaque, soumise brusquement à cette même pression, descendra immédiatement à une température voisine de 50°, point d'ébullition de la dissolution, température que nous pouvons supporter pendant quelque temps, sans courir le risque d'être brûlé. Il est vrai qu'il y aura dégagement considérable de gaz, que ce gaz mélangé surtout à la dissolution projetée pourra occasionner parfois un commencement d'asphyxie; mais n'oublions pas non plus que si l'ammoniac est un gaz irritant, il est beaucoup plus léger que l'air; il s'élèvera donc rapidement dans l'atmosphère, et je ne doute pas, pour mon compte, que les hommes qui, dans ce cas, n'auront à souffrir que de l'odeur du gaz et du manque d'air et nullement de l'excès de la température produite, n'aient le temps de fuir.

Ainsi, dans le cas extrême dont il s'agit, cas qui se produira plus rarement qu'auparavant, l'accident aura des suites moins désastreuses qu'avec la vapeur d'eau.

J'arrive maintenant à des accidents moins graves, mais en revanche beaucoup plus fréquents. Qu'un tuyau vienne à se rompre, le tuyau d'alimentation, par exemple, puisque c'est celui qui est soumis au travail le plus violent. Je puis affirmer, d'après ma propre expérience, qu'on pourra toujours isoler le tuyau crevé assez à temps pour que la réparation puisse se faire presque aussi rapidement que si l'accident était arrivé à une machine à vapeur.

Enfin admettons encore, pour épuiser autant que possible la série des accidents qui peuvent se produire, qu'un tube de la chaudière, si c'est une chaudière tubulaire, vienne à crever. Dans ce cas, on perdra sa dissolution, si l'on ne peut arriver à tamponner le tube assez à temps, et alors de deux choses l'une : ou l'on remplira de nouveau la chaudière d'ammoniaque liquide, une fois le tube remplacé ou condamné, ou, si l'on n'en a plus à sa disposition, on marchera à l'eau pure; car, ainsi que vous le verrez tout à l'heure, messieurs, la machine à ammoniaque ne différant de la machine à vapeur que par une forme spéciale de condenseur, peut marcher aussi bien, en cas de besoin, avec l'eau pure, qu'avec l'ammoniaque, quitte à dépenser dans le premier cas beaucoup plus de charbon que dans le second.

Je crois avoir passé en revue les accidents les plus importants qui peuvent se produire. Qu'il ne résulte de ces accidents aucun inconvénient, cela n'est pas possible, et je me garderai bien de chercher à le prouver. L'important est qu'ils ne causent pas plus de désordres avec l'ammoniaque qu'avec l'eau pure, et c'est ce que je crois vous avoir démontré.

Cette question des fuites nous reporte tout naturellement à la machine à vapeurs combinées. Les liquides employés dans ces machines, conjointement avec l'eau, produisaient des vapeurs très-lourdes. Ces vapeurs ne pouvant, à cause de leur grande pesanteur spécifique, se dissiper rapidement dans l'atmosphère, formaient avec l'air des mélanges explosifs. Aussi les fuites étaient-elles beaucoup plus à craindre qu'avec le gaz ammoniac qui ne brûle pas, ne détonne pas, est beaucoup plus léger que l'air, et dont l'odeur vive et pénétrante trahit immédiatement la présence en cas de fuite.

Avant de quitter la machine à vapeurs combinées pour n'y plus revenir, permettez-moi de vous signaler encore une autre cause d'infériorité de cette machine sur le moteur à ammoniaque.

La machine à vapeurs combinées, comme la machine à air chaud dont nous parlerons tout à l'heure, ne peut servir que pour le but spécial en vue duquel elle a été construite. Que le liquide volatil arrive à se perdre par une cause quelconque, si l'on n'a pas les moyens de le remplacer, l'appareil est condamné au repos. En outre, ces deux systèmes de ma-

chines ne peuvent être appliqués aux moteurs à vapeur actuels. La machine à ammoniaque, au contraire, peut au besoin, et sans qu'il soit nécessaire de lui apporter la moindre modification, être alimentée par de l'eau pure. Elle ne diffère de la machine à vapeur par aucun de ses organes essentiels : le dissoluteur lui-même, appareil dans lequel vient se régénérer la dissolution, peut être considéré comme une variété de condenseur. Elle présente donc cet immense avantage de pouvoir utiliser, malgré son application générale, tout le matériel actuel, par une simple modification dans la forme des condenseurs.

Puisque j'ai mis en parallèle les deux moteurs à vapeurs combinées et à ammoniaque, je crois qu'il est bon que je compare aussi, en termes rapides, les deux moteurs à ammoniaque et à air chaud. J'ai déjà dit, messieurs, que, dans ce dernier, l'utilisation ne pouvait jamais dépasser 20 p. 100, et descendait le plus souvent bien au-dessous de ce chiffre. Dans le nouvel appareil, cet inconvénient, qui constitue presque une impossibilité, n'existe pas. Un litre de liquide ammoniacal donne naissance à 200 litres environ de gaz et de vapeur mélangés, tandis que, comme nous l'avons vu, un litre d'air ne produit guère qu'un litre et demi de gaz moteur. Mais là ne réside pas tout ce qui fait la supériorité du nouvel appareil.

L'air s'échauffe très-difficilement, et, pour utiliser le combustible d'une manière convenable, il est à peu près indispensable de mélanger l'air avec les gaz chauds provenant de la combustion. Aussi les inventeurs se sont-ils presque tous ralliés à l'idée d'employer un foyer clos. Il en résulte que ces gaz concourent avec l'air échauffé à l'alimentation des cylindres moteurs. De là, dans la machine à air, un danger continuel de faire gripper les cylindres dans le cas où, la combustion n'étant pas parfaite, des matières solides seraient entraînées avec les gaz.

Il est inutile de faire remarquer que, dans la machine à ammoniaque, le foyer est extérieur, et que, par conséquent, le danger signalé dans la machine à air chaud n'existe pas dans le nouveau moteur.

Vous savez déjà, messieurs, que, dans la machine à ammoniaque, le gaz, après avoir produit son effet, est constamment repris pour être absorbé par l'eau. Si cette eau était prise à l'extérieur, nous serions obligé d'expulser de la chaudière, qui, sans cela, serait bientôt encombrée, une partie de la dissolution appauvrie; il en résulterait une perte de gaz qui, au bout de très-peu de temps, serait assez sensible pour nous obliger à renouveler notre dissolution. Aussi l'eau destinée à l'absorption du gaz est-elle prise à la chaudière même, où la dissolution n'est jamais saturée. Mais cette eau, sortant de la chaudière, est à une température élevée; et comme elle doit être refroidie aussi complétement que possible pour être apte à redissoudre le gaz, il y aurait, de par ce fait, une perte considérable de chaleur, si l'on n'avait soin de refroidir l'eau qu'on extrait de la chaudière par l'eau saturée qui y est refoulée par la pompe

alimentaire; vous verrez tout à l'heure, messieurs, par quel moyen ces deux courants liquides échangent, d'une manière presque complète, leur état thermométrique.

Je résume, messieurs, les développements que j'ai cru devoir donner sur la partie théorique de la machine à ammoniaque.

Le fonctionnement de ce nouveau moteur consiste en un échappement simultané de deux courants, l'un gazeux, l'autre liquide, pris tous deux à la chaudière. Le premier, le courant gazeux, passe par le cylindre où il transforme une partie de sa chaleur en travail; le second, le courant liquide, vient rejoindre le courant gazeux au sortir du cylindre, pour l'absorber et lui permettre de rentrer à la chaudière sous forme liquide. C'est un double circuit fermé dont la chaudière, où se produit la chaleur, et le dissoluteur, où se regénère la dissolution, forment pour ainsi dire les deux maillons communs.

III

Les considérations que je vous ai présentées, messieurs, étaient nécessaires pour faire comprendre, dans tous ses détails, la machine à ammoniaque. Je vais donc maintenant, laissant de côté le point de vue théorique, vous dire comment je suis arrivé pratiquement à la solution du problème que je m'étais proposé.

Après m'être assuré, par des expériences de laboratoire, de l'économie que devait présenter le moteur à ammoniaque, je fis des essais d'abord sur une machine d'un demi-cheval, puis sur une machine de 6 chevaux, que je fis fonctionner pendant près de deux ans. Ce n'est qu'après m'être complétement éclairé par de nombreuses études pratiques, que j'appliquai mon système à la machine de 15 chevaux que vous avez pu voir fonctionner à l'Exposition universelle.

C'est une ancienne locomobile à vapeur qui se trouvait dans les ateliers de M. Claparède, et dont la marine impériale a fait l'acquisition pour la faire transformer en moteur à ammoniaque.

Avant de poursuivre, permettez-moi, messieurs, de remplir un devoir de reconnaissance envers l'Empereur. Depuis deux ans environ, l'Empereur, dont l'attention avait été attirée sur mes travaux par de hautes recommandations, a daigné s'intéresser d'une manière particulière à cette étude spéciale; il voulut contribuer lui-même aux expériences si coûteuses que j'étais obligé de faire, et je dois le dire, messieurs, c'est grâce à ce bienveillant et généreux concours que j'ai pu arriver au résultat que vous avez pû constater.

Beaucoup de personnes m'ont exprimé leur étonnement de ce que je n'avais pas appliqué mon appareil à une machine à vapeur plus parfaite qu'une locomobile. J'ai deux réponses à leur faire : la première, c'est

que je n'avais pas la prétention d'arriver du premier coup à la perfection, et que, trouvant à ma disposition une machine toute faite, je pouvais espérer gagner beaucoup de temps dans la construction de mon appareil; la seconde, c'est que je ne voulais qu'une chose, me mettre dans des conditions comparatives aussi parfaites que possible, et c'est ce que je comptais obtenir en me contentant d'appliquer à un moteur déjà fait les modifications qui devaient le transformer en moteur à ammoniaque.

Je n'eus d'autre changement à apporter à la locomobile que la substitution du fer au cuivre partout où le métal se trouvait en contact avec le gaz, et j'ajoutai un appareil spécial, le *dissoluteur*, destiné à reconstituer la dissolution ammoniacale pour la renvoyer à la chaudière.

Vous savez déjà, messieurs, que c'est en vertu de la différence de saturation qui existe entre la dissolution de la chaudière (19° du pèse-alcali) et celle du dissoluteur (26° à 27°) que fonctionne la machine à ammoniaque.

La chaudière a l'une quelconque des formes des générateurs actuels. Elle est remplie au préalable d'une dissolution ammoniacale. On la chauffe. Après un certain temps, qui est la moitié du temps nécessaire avec l'eau pure, on obtient la pression normale, soit, avec la chaudière de la locomobile exposée, 6 atmosphères après une demi-heure de chauffe, à une température de 110° environ, l'ammoniaque pesant 19° alcalimétriques.

A ce moment, on ouvre le robinet de vapeur et la valve d'introduction. Les gaz mélangés dans la proportion d'un sixième de vapeur d'eau pour 5/6 de gaz ammoniac entrent dans le cylindre où ils opèrent identiquement de la même manière que la vapeur d'eau seule dans les machines à vapeur. Après avoir transformé une partie de leur chaleur en travail, ils viennent échapper dans les tubes d'un *condenseur par surfaces*. Dans ces tubes, autour desquels circule continuellement de l'eau froide, la vapeur d'eau se condense, le gaz ammoniac se refroidit. Le mélange rencontre, au sortir de ces tubes, de l'eau d'injection non saturée qui dissout en grande partie le gaz et l'entraîne avec la vapeur d'eau condensée dans un *dissoluteur tubulaire,* qui est en même temps le réservoir de dissolution. Ce *dissoluteur* est traversé lui-même par un faisceau de tubes dans lesquels circule l'eau de refroidissement. C'est autour de ces tubes que s'achève la dissolution, le calorique latent de dissolution étant enlevé, au fur et à mesure qu'il se forme, par l'eau de refroidissement. C'est là que la *pompe alimentaire* vient puiser, d'une manière continue, la dissolution, pour la renvoyer à l'état saturé à la chaudière.

L'eau injectée au sortir des tubes du *condenseur* provient de la chaudière. Prise à la partie inférieure, où elle est un peu moins saturée, elle vient circuler d'abord dans un *serpentin* qu'entoure l'eau d'alimentation. Celle-ci est projetée par la pompe dans le fond d'un réservoir qui contient ce premier serpentin, et qui est mis par le haut en communication avec

la chaudière. L'eau d'alimentation circulant de bas en haut, et l'eau extraite de la chaudière de haut en bas, l'échange de calorique est aussi parfait que possible, et il est presque complet lorsque le jeu de la machine est très-régulier.

Si cependant, par une cause quelconque, cet échange n'était pas complet, dans le cas, par exemple, où l'alimentation serait insuffisante, ou l'extraction trop abondante [1], cette eau ne serait pas encore assez froide pour absorber le gaz dans de bonnes conditions. Aussi, pour plus de sécurité, la fait-on circuler encore dans un *second serpentin* entouré d'eau de refroidissement, d'où elle sort complétement froide pour être injectée dans le condenseur.

Passons à l'eau employée au refroidissement. Il est évident que c'est au dissoluteur qu'il faut appliquer le refroidissement le plus énergique. C'est là, en effet, que se parfait la dissolution. Plus la température sera basse, plus grande sera la saturation, et aussi plus grand sera le vide.

Les tubes du dissoluteur sont divisés en deux séries par une cloison normale à la plaque de tête. L'eau traverse successivement ces deux séries de tube enlevant ainsi complétement le calorique dégagé par la dissolution, est conduite ensuite autour des tubes du condenseur, pour condenser la vapeur d'eau et refroidir le gaz ammoniac, et débouche enfin dans le réservoir qui contient le second serpentin où elle achève de refroidir l'eau d'injection. Elle est de là rejetée à l'extérieur.

Je n'espère pas, messieurs, avoir, dans la machine à ammoniaque, un vide aussi parfait que celui auquel on est arrivé maintenant dans nos bonnes machines à vapeur. Je n'ai jamais pu dépasser 45 centimètres de mercure, et je n'ai, la plupart du temps, que 35 centimètres. Cela tient uniquement à la faible température d'ébullition de l'ammoniaque liquide (50°).

Néanmoins ce vide est encore assez important pour qu'il ne soit pas à dédaigner, et toute l'attention du chauffeur doit se reporter sur le manomètre du dissoluteur. Si le vide est insuffisant, il augmente la quantité d'eau injectée; s'il est trop fort, il la diminue : il obtient ce résultat en manœuvrant le robinet d'injection.

Quand on met la machine en marche, il faut pouvoir se débarrasser de tout l'air contenu dans le système. Il est impossible d'agir comme dans les machines à vapeur où souvent on laisse échapper l'air par les soupapes de sûreté, pendant qu'on chauffe la chaudière. Ici on attend que le moteur soit mis en mouvement. L'air contenu dans les divers organes : chaudière, tuyaux, cylindre, condenseur, arrive naturellement dans le dissoluteur, y forme pression, soulève une soupape placée sur le dissoluteur lui-même, et est conduit dans une bâche contenant de l'eau non

1. Le manomètre trahit immédiatement ces deux défauts, et le conducteur de la machine y pourvoit par la manœuvre des robinets d'injection et d'alimentation.

saturée. Le gaz entraîné avec l'air se dissout dans cette eau, et l'air s'échappe enfin dans l'atmosphère par une soupape ouvrant de bas en haut, située à la partie supérieure de la bâche. Il suffit de quelques coups de piston pour purger d'air tous les organes de la machine à l'exception du dissoluteur. On met ensuite celui-ci en communication directe avec le haut de la chaudière. Les gaz, chassés par la pression, arrivent dans le dissoluteur, et entraînent l'air dans la bâche d'où il est ensuite naturellement rejeté à l'extérieur.

L'eau de la bâche provient de la chaudière : il suffit de la renouveler de temps en temps pour qu'elle soit toujours propre à absorber le gaz ammoniac.

Dans une machine peu importante, le tuyau de communication dont je viens de parler suffit pour qu'on puisse maintenir un vide satisfaisant. Mais, dans une grande machine, la pompe à air est indispensable ; dans ce cas, elle puise l'air à la partie supérieure du dissoluteur, au-dessus de la prise d'eau d'alimentation, et l'envoie dans la bâche, où cet air, avant d'être expulsé au dehors, est dépouillé de tout le gaz qu'il pourrait contenir.

Il est bien entendu que les gaz qui s'échappent par les soupapes de sûreté sont conduits dans le condenseur. Il en est de même des gaz qui peuvent venir des robinets et soupapes de purge ; en général partout où, par le jeu régulier de la machine, il peut y avoir perte de liquide ammoniacal, un tuyau vient l'amener dans le condenseur.

Telle est la disposition adoptée dans l'appareil qui fonctionnait à l'Exposition. Je dois ajouter, messieurs, que cette disposition n'est pas nécessairement la même dans toutes les conditions. Le moteur à ammoniaque, par la raison même qu'il est en même temps un moteur à vapeur, peut emprunter, comme ce dernier, les formes les plus variées. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, la chaudière pourra être chauffée avec de la vapeur d'eau, dans toutes les usines où l'on a besoin de vapeur d'eau. Il est du reste évident que suivant l'usage auquel est destinée la machine, il y aura lieu d'adopter des dispositions différentes de celles que j'ai indiquées.

IV

Je dois maintenant, messieurs, vous entrenir des résultats économiques que j'ai obtenus avec le moteur dont je viens de vous donner la description.

Cette machine, ainsi que je vous l'ai dit, est une ancienne machine à vapeur à laquelle aucun changement n'a été apporté, soit dans la chaudière, soit dans le cylindre et le tuyautage. La seule modification faite consiste dans l'addition d'un dissoluteur. Or, messieurs, si vous avez bien saisi les explications que j'ai eu l'honneur de vous donner, vous

avez dû remarquer que ce dissoluteur n'était autre chose qu'un condenseur par surface ordinaire coupé par le milieu, les deux parties faisant fonction l'une de condenseur, l'autre de dissoluteur. Comme elles sont en communication directe, on peut donc les considérer, dans le cas où l'on marcherait avec l'eau pure, comme formant un seul condenseur.

Il en résulte ceci : c'est qu'en faisant marcher le moteur alternativement à l'eau pure et à l'eau ammoniacale, comme on agit absolument dans les mêmes conditions, et pour la chaudière, et pour la machine, on aura des expériences parfaitement comparatives.

J'ai fait une série d'essais en janvier 1867; ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

NOMBRE de CHEVAUX utiles.	DATE de L'ESSAI.	DURÉE de L'ESSAI.	CONSOMMATION TOTALE par heure.	CONSOMMATION par cheval et par heure — TOTALE.	CONSOMMATION par cheval et par heure — Refroidissement de la chaudière deduit (A).	
						Marche à l'ammoniaque.
	11 janv.	3 heures	12 k. 33	......	....	Marche à vide.
	16 janv.	7 heures	6 k. (A)	......	....	On a chauffé à 110° sans marcher, pour dégager des résultats la perte de chaleur occasionnée par le refroidissement de la chaudière.
9 ch. 50	9 janv.	5 h. 30m	14 k. 54	1 k. 53	0.900	
12 ch. »	15 janv.	4 heures	19 k. 25	1 k 60	1.12	
13 ch. 25	17 janv.	6 heures	18 k. 50	1 k. 40	0.95	
17 ch. 50	26 janv.	6 heures	25 k. 14	1 k. 44	1.09	**Marche à la vapeur d'eau.**
	18 janv.	5 heures	7 k. (A)	......	....	On a chauffé à 160° sans marcher, pour dégager des résultats la perte de chaleur occasionnée par le refroidissement de la chaudière.
9 ch. 50	10 janv.	2 h. 30m	42 k. 80	4 k. 50	3.77	On a pendant cette expérience un vide de 50 à 55cm de mercure.
Rapport des deux consommations.....				1/3	1/4	

Ces expériences ont été faites sur la locomobile non recouverte, exposée sous un hangar ouvert. Le cylindre n'a pas de chemise, les tuyaux ne sont pas enveloppés; les flammes se rendent directement à la cheminée en traversant les tubes de 2m.40 de longueur.

J'ai, comme on le voit d'après ce tableau, établi deux colonnes de dépenses par cheval et par heure. L'une ne tient pas compte du refroidissement de la chaudière, l'autre en tient compte. Il y a là évidemment une constante que l'on peut considérer comme pouvant entacher d'erreur les rapports des deux consommations.

Il résulte de ces chiffres qu'une machine à vapeur transformée en machine à ammoniaque consommera moins du 1/3 du charbon qu'elle consommait avec la vapeur d'eau pour faire le même travail.

Plus tard, une commission de la marine a fait subir à la machine à ammoniaque des épreuves prolongées. Je ne puis donner aucun résultat

officiel, le rapport ne m'ayant pas été communiqué. J'ai relevé néanmoins les chiffres obtenus dans plusieurs expériences, et voici les résultats qui se déduisent de deux essais faits dans les mêmes conditions de consommation :

Vapeur d'eau. 13 avril — $7^{chev}.97$ — dépense par heure $32^{k}.27$ — par cheval $4^{k}.05$.

Ammoniaque. 11 mai — $19^{chev}.00$ — dépense par heure $30^{k}.00$ — par cheval $1^{k}.51$.

Rapport des deux consommations $\frac{1.51}{4.05} = 0.373$.

Depuis, le ministre de la marine a bien voulu décider que deux machines de 20 chevaux de 300 kilogrammètres seraient construites pour les ateliers de nos arsenaux.

Plus tard encore, à l'Exposition, M. Tresca a fait également des expériences sur la machine fonctionnant alternativement à l'eau et à l'ammoniaque. Désirant faire constater par ce savant praticien le bon fonctionnement de l'appareil, tout autant que l'économie réalisée, je n'ai pas voulu surveiller moi-même la marche du moteur. L'essai a duré, si je ne me trompe, $4^{h}.3'$ pour l'eau, $4^{h}.18'$ pour l'ammoniaque, et a donné, en faveur de la marche à l'ammoniaque, une économie de 60 pour 100 environ.

Quelques mots encore, messieurs, sur les prix de revient. Il faut considérer les machines neuves et les machines transformées. Les machines neuves coûteront environ le même prix que les bonnes machines à vapeur à condenseur. Même chaudière, même organe moteur, même tuyautage à très-peu près : le condenseur seul sera un peu plus compliqué. Mais si l'on observe qu'il ne se compose que de 4 réservoirs en fonte brute, superposés, n'exigeant presque pas de travail d'ajustage, on comprendra facilement que son prix de revient sera loin d'être exagéré, et dépassera peu celui du condenseur par surfaces ordinaire, dont il aura les avantages.

Quant à la transformation d'une machine à vapeur en machine à ammoniaque, dès qu'il s'agira de plus de 25 chevaux, la dépense ne sera pas de plus de 150 francs par cheval. Inutile d'ajouter que ce prix diminuerait sensiblement pour une machine plus importante. Or la dépense ordinaire avec la vapeur d'eau est d'environ 400 francs par cheval et par an. L'économie réalisée étant de 250 francs au moins, on voit qu'au bout de huit mois on aura couvert les frais d'installation, après quoi on possédera une machine très-économique, et dont les chaudières préservées à l'avenir de toute oxydation auront des chances de durée qu'elles n'avaient pas auparavant.

Reste le prix de la matière première, l'ammoniaque. De grands fabri-

cants m'ont affirmé que si la consommation de l'alcali volatil prenait de grandes proportions, ils se feraient forts de le vendre à 25 francs les 100 litres.

Or, en conservant les formes actuelles, on pourra obtenir 30 chevaux avec un générateur de 10 chevaux : celui-ci contient 500 litres environ. Cela nous ferait donc pour 30 chevaux 20 litres au plus, soit 5 francs par cheval. Vous voyez, messieurs, que lors même qu'on serait obligé de renouveler sa dissolution tous les six mois, cela ne donnerait lieu qu'à une dépense annuelle de 10 francs, qui serait bien peu de chose comparée à l'économie de 250 francs réalisée.

Permettez-moi, messieurs, de résumer en quelques mots les caractères principaux de la machine à ammoniaque:

1° Économie notable des deux tiers du combustible;

2° Mise en pression très-rapide;

3° Transformation rapide et peu coûteuse de tout le matériel existant;

4° Faculté de reprendre la marche ordinaire à la vapeur d'eau, si, par une cause quelconque, l'ammoniaque venait à manquer;

5° Plus longue durée des chaudières, par suite de l'innocuité de l'ammoniaque sur le fer;

6° Diminution de l'encombrement des chaudières et du combustible, et par suite augmentation considérable du fret pour les machines marines;

7° Impossibilité de la production de dépôts salins dans la chaudière.

NOTE

SUR LES

APPAREILS A PRODUIRE LE FROID

PAR M. H. ROUART.

La *Réfrigération artificielle* a pris une place assez importante dans l'industrie pour qu'il soit permis, sans vouloir étudier complétement son histoire, de passer en revue les principales tentatives qui ont été faites pour arriver à sa réalisation.

Je ne m'arrête pas à des définitions qui sont trop connues de vous, et je prends simplement la liberté de vous indiquer que j'ai divisé les méthodes et les appareils que je me suis proposé d'étudier en trois catégories comprenant les appareils utilisant les propriétés : 1° de la chaleur spécifique; 2° de la chaleur latente de fusion; 3° de la chaleur latente de volatilisation.

1° APPAREILS A CHALEUR SPÉCIFIQUE.

Les appareils que j'appellerai appareils à chaleur spécifique sont en général peu puissants. Ils sont fondés sur ce fait que deux corps solides, liquides ou gazeux, à des températures différentes, mis en rapport l'un avec l'autre, soit à distance soit au contact, échangent leur température. Il n'est pas un de nous qui n'ait entendu raconter dès ses premiers pas dans l'étude de la physique comment on peut fabriquer de la glace au Bengale par l'effet du rayonnement, en utilisant soigneusement la sérénité du ciel, le pouvoir emissif de l'eau et la non-conductibilité de la paille. Malgré mes rapports assez fréquents avec les habitants de l'Inde, je n'ai jamais entendu dire que ce procédé classique ait donné lieu à une exploitation industrielle.

Échangeurs de température. — L'échange des chaleurs spécifiques au contact est beaucoup plus employé, et sans entrer dant le détail de tous les procédés de refroidissement en usage dans les ménages et qui s'accomplissent journellement d'instinct, je tiens à vous parler des échan-

geurs de température employés dans un grand nombre d'industries, particulièrement dans les brasseries et les distilleries, d'autant plus que vous en verrez une application importante dans les appareils que je compte vous décrire à la fin de cette note, comme étant le terme extrême auquel l'industrie soit parvenue jusqu'à ce jour.

Les échangeurs de température sont presque exclusivement employés entre deux liquides. Leur forme théorique rudimentaire est celle d'un serpentin dont la section serait annulaire. Dans le tuyau intérieur circule un liquide que je supposerai originairement chaud et dans l'espace annulaire un autre liquide originairement froid. Ils accomplissent en sens inverse leur chemin à travers l'appareil, de telle sorteque, par un contact prolongé, ils équilibrent à peu près leur température; — le liquide chaud a réchauffé le froid. Si l'on tient compte des différences de densité occasionnées par les dilatations, le bon sens indique que l'appareil étant placé verticalement, le liquide qui s'échauffe doit marcher de bas en haut; en contrariant cette disposition si naturelle, on peut, dans certains cas, diminuer notablement l'effet d'une surface échangeante.

La théorie de ce genre d'appareils est extrêmement simple; elle est l'expression de ce fait que : la quantité de calories abandonnées par le liquide chaud est égale, sauf les pertes, à la quantité de calories recueillies par le liquide froid; elle donne immédiatement la mesure de leur puissance.

Appareil à air comprimé. — La chaleur spécifique a aussi été utilisée dans d'autres appareils plus compliqués qui ont été l'occasion d'un grand nombre de brevets, de combinaisons extrêmement ingénieuses et variées, d'essais nombreux et très-coûteux.

Je veux parler des appareils à air ou à gaz incondensable comprimé. Ils reposent sur ce fait physique bien connu que la compression produisant de la chaleur, la détente doit, par inverse, produire du froid.

La quantité de chaleur dégagée par la compression d'un gaz incondensable est souvent très-grande. Nous avons tous vu enflammer de l'amadou dans le briquet atmosphérique.

Par opposition, l'air sortant rapidement d'un réservoir où il aura été suffisamment comprimé et refroidi, condensera sous forme de neige une partie de l'humidité contenue dans l'atmosphère environnante. Pour utiliser industriellement cette propriété, l'air comprimé par de grandes pompes a été refroidi le mieux possible au moyen d'un courant d'eau froide, et s'est détendu au contact des substances qu'on voulait refroidir ou congeler. — D'après les calculs de M. Péclet, un cheval-vapeur donnerait théoriquement naissance à $32^k,4$ de glace par heure; ce résultat serait bon, quoique très-inférieur aux résultats théoriques que nous rencontrerons plus loin, mais il ne tient aucun compte des pertes de

force ni de la mauvaise conductibilité des gaz, qui est peut-être la principale cause d'infériorité de ces machines. L'air et les autres gaz incondensables abandonnant très-difficilement soit la chaleur soit le froid qui leur est communiqué, il est pour ainsi dire impossible d'enlever à l'air l'élévation de température que lui a communiquée la compression, et de recueillir le froid que lui a donné la détente.

Un des appareils les plus complets qui aient été produits à cet égard, est celui qui fut breveté en Angleterre en 1850 par Newton. Il recueillait la chaleur au moyen d'eau très-divisée injectée par une pompe; pour recueillir le froid il remplaçait l'eau par un liquide incongelable.

Jusqu'à présent ces appareils n'ont pas donné de résultats industriels satisfaisants; on dit qu'il en existe un en Angleterre qui produit un kilogramme de glace par kilogramme de charbon brûlé.

2° APPAREILS A CHALEUR LATENTE DE FUSION.

L'emploi des propriétés de la chaleur latente, qui est généralement beaucoup plus grande que la chaleur spécifique pour des variations égales de température, a presque toujours donné des résultats plus complets.

Un grand nombre d'appareils très-variés ont été construits dans le but de les utiliser.

Je m'occuperai d'abord de ceux qui reposent sur l'emploi de la chaleur latente dégagée au passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide.

Chaque corps exigeant pour se fondre une certaine quantité de chaleur, il est évident que si l'on mélange ensemble deux corps solides dont l'action réciproque entraîne la fusion de chacun d'eux, il pourra arriver que les calories nécessitées pour la fusion soient plus nombreuses que celles qui peuvent être fournies par les substances en contact et les corps environnants; il y aura alors quelquefois un abaissement de température au-dessous de zéro. Le même phénomène pourra se produire entre un corps solide qu'on mettra simplement en dissolution dans un liquide. On constituera ainsi ce qu'on appelle les mélanges réfrigérants qu'on pourra utiliser d'une facon à peu près constante dans des appareils de formes très-variées et uniquement composés d'un réservoir fermé dans lequel se trouve le corps à refroidir, enveloppé d'un autre réservoir où se trouve le mélange réfrigérant enveloppé lui-même d'une couverture isolante destinée à le préserver du rayonnement.

Bien des mélanges réfrigérants ont été mis en usage; ceux qui sont employés le plus communément sont : la dissolution d'azotate d'ammoniaque dans l'eau, qui, d'après Desains, peut donner un abaissement de température de $+10$ à $-15°$; le mélange de sulfate de soude et d'acide chlorydrique qui donne un abaissement de température de $+10$ à $-17°$;

le mélange de glace et de sel, journellement employé par les glaciers pour la confection des sorbets et autres objets d'art culinaire.

Avant de quitter ce genre d'appareils qui ont été souvent utilement employés mais qui n'ont pas donné lieu à des industries bien importantes, j'insisterai sur une tentative qui, si elle n'a pas fourni une carrière industrielle, a néanmoins le mérite d'être combinée d'une manière séduisante : j'entends parler de l'appareil breveté en Angleterre en 1855 par Siemens. Il eut l'idée de réaliser une fabrication continue de glace au moyen d'un mélange réfrigérant produit par un corps se dissolvant et se concentrant d'une manière continue. Ainsi, par exemple, autour d'un congélateur d'une forme quelconque, se trouverait de l'eau dans laquelle on ferait tomber du nitrate d'ammoniaque; on obtiendrait de cette façon un abaissement de température pouvant aller à 10° au-dessous de zéro, dans des circonstances favorables. La dissolution une fois parfaite et l'effet de refroidissement une fois épuisé, on la fait écouler en la remplaçant par de l'eau et du nitrate d'ammoniaque solide. Il est bien entendu que le nitrate d'ammoniaque nouveau est obtenu par l'évaporation à siccité de la solution qui s'est produite.

Cette tentative paraît aujourd'hui avortée; il a dû, en effet, se rencontrer dans les détails d'exécution de grandes difficultés.

3° APPAREILS A CHALEUR LATENTE DE VOLATILISATION.

Ayant ainsi rendu un compte sommaire de ce qu'a donné l'application des propriétés de la chaleur spécifique et de la chaleur latente de fusion, j'arrive à ce qui me paraît être le pivot de la réfrigération future : *la chaleur latente de volatilisation.*

Je diviserai en deux classes les appareils qui sont basés sur son emploi :

Ceux qui s'appuient sur les expériences de Lesly;
Ceux qui s'appuient sur les expériences de Faraday.

Je m'occuperai d'abord des premiers, et je commencerai par rappeler les deux expériences classiques de Lesly.

Mettez sous le plateau de la machine pneumatique une capsule remplie d'éther dans lequel plonge une ampoule contenant de l'eau; faites le vide : au bout d'un temps très-court, l'ampoule se brisera parce que l'eau qu'elle contenait s'est congelée.

Remplacez la capsule contenant l'éther par une autre renfermant de l'acide sulfurique et surmontée d'un plateau sur lequel se trouvent quelques gouttes d'eau; faites encore le vide, l'eau se gèle rapidement.

Ces deux expériences si convaincantes ont été le point de départ de tentatives très-nombreuses mettant en usage des appareils assez différents

les uns des autres, suivant qu'elles s'appuyaient sur la première ou sur la seconde.

Appareils à éther de Shaw, Harrisson, Carré, etc. — Les appareils imaginés successivement par Shaw, Harrisson et Carré, s'appuyant sur la première expérience, se composent essentiellement d'un réservoir contenant l'éther, appelé congélateur, d'une pompe aspirante et foulante et d'un condenseur. La pompe, dans ses mouvements alternatifs, aspire successivement les vapeurs d'éther qui se dégagent du congélateur et les refoule dans le condenseur, où elles se liquéfient. On sait parfaitement que le passage d'un kilogramme d'éther de l'état liquide à l'état gazeux ne peut s'effectuer qu'à la condition de soustraire aux objets environnants 91 calories qui représentent sa chaleur latente. Or, dans le cas qui nous occupe, l'éther n'est en contact qu'avec lui-même et avec les corps sur lesquels on désire agir. Ne trouvant pas dans sa propre substance une quantité suffisante de calories, il en empruntera forcément aux corps environnants dont il produira ainsi l'abaissement de température.

Comme on le voit, la théorie de ce genre d'appareils est extrêmement simple; leur pratique présente des difficultés beaucoup plus sérieuses: ils exigent en effet une construction plus que soignée et des matières pour ainsi dire indestructibles. Ainsi il faut éviter avec soin les moindres fissures par lesquelles pourraient sortir des vapeurs d'éther ou rentrer de l'air, cet éternel ennemi des condensations et des volatilisations faciles et normales.

Il faut craindre par dessus tout l'influence des espaces nuisibles, influence énorme qui limite forcément la puissance de l'appareil; c'est qu'en effet, à de basses températures, quand la tension de la vapeur d'éther est réduite à quelques centimètres de mercure, le vide produit par le déplacement du piston se trouve détruit par la volatilisation des vapeurs condensées qui se sont accumulées sur le couvercle du cylindre.

Il faut craindre encore l'usure des matières. Ainsi le cylindre et le corps de pompe, originairement et à grands frais ajustés l'un à l'autre avec un soin extrême, subissent au bout de quelque temps de marche des déformations qui permettent aux vapeurs de passer d'un côté à l'autre du piston et sont ainsi la cause d'une perte de vide qui détruit un travail considérable.

En un mot, tous les phénomènes d'usure qui se produisent dans les appareils d'industrie ordinaire où ils n'ont qu'un rôle assez peu important ont ici pour effet de réduire le travail dans des proportions considérables.

Les plus ingénieuses précautions ont été imaginées pour remédier à ces difficultés de toute nature, et bien que jusqu'ici leur effet n'ait pas été complet, nous ne saurions les passer sous silence.

Ainsi M. Carré se sert de joints hydrauliques qu'il exécute en plaçant

entre des brides à boulons deux rondelles d'étain laissant entre elles un intervalle rempli avec un liquide; il obtient de cette manière l'étanchéité même dans les joints soumis aux vibrations produites par la marche de la machine.

Il a aussi indiqué des robinets construits d'une manière toute spéciale : un siége de soupape est placé au centre d'une boîte dans laquelle viennent aboutir en haut et en bas les deux tubulures entre lesquelles il s'agit de régler un écoulement. Le clapet qui ferme ce siége est assujetti à une membrane métallique flexible soudée sur tout son contour; il se meut sans que, par aucun point, l'atmosphère environnante puisse entrer dans la circulation.

Son stufing-box est à double garnitures entre lesquelles est perpétuellement maintenu un bain d'huile.

Le robinet par lequel s'effectue la purge de l'air existant originairement ou rentré accidentellement dans l'appareil est un baromètre à cuvette qui permet la sortie du gaz, pourvu que la tension intérieure soit supérieure à la pression atmosphérique; par sa nature même il s'oppose à toute rentrée d'air.

M. Marcar Beylikgi, pharmacien à Constantinople, a imaginé, pour détruire l'influence de l'espace nuisible, d'employer une pompe dite à mercure, munie d'organes très-savamment combinés dont la description détaillée nous entraînerait trop loin. Il s'est proposé de remplacer le piston ordinaire des pompes par un piston en mercure qui, comme on l'imagine, remplit parfaitement toutes les cavités laissées vides et qui ne subit en rien les influences de l'usure.

J'oublie à dessein beaucoup de toutes ces très-ingénieuses dispositions empruntées tantôt à la mécanique, tantôt à la physique, mais qui toutes ont été jusqu'à ce jour vaincues par une nécessité de perfection qu'il peut être quelquefois permis à la nature humaine d'atteindre, mais qu'il lui est, dans tous les cas, extrêmement difficile de conserver. L'imagination s'est beaucoup exercée sur ce genre d'appareils. On a généralisé leur emploi, on a substitué à l'éther le sulfure de carbone, les gaz liquéfiés, tels que l'ammoniaque, l'acide sulfureux et autres; tout cela est certainement possible, mais extrêmement difficile de pratique industrielle.

De toutes ces machines les plus utilement employées jusqu'ici sont encore celles qui, faisant litière de perfections trop rares, ont trouvé dans la simplicité de leurs organes une marche théoriquement moins avantageuse, mais plus en rapport avec l'imperfection humaine.

La seconde expérience de Lesly a été aussi mise à contribution, et l'on trouve dans l'excellent traité de chaleur de M. Péclet la description d'un projet d'appareils employant à la fois le vide et l'absorption des vapeurs d'eau par le chlorure de calcium, — projet qu'il serait facile de réaliser.

Des appareils ont été construits qui, avec moins de frais d'imagination, reproduisent littéralement l'expérience de Lesly; ils emploient la machine pneumatique pour produire le vide et l'acide sulfurique comme absorbant. Suivant moi, ils participent à tous les inconvénients que j'ai signalés pour les appareils qui reposent sur la première expérience, et, toutes choses égales d'ailleurs, doivent être plus compliqués, puisqu'ils emploient à la fois deux agents du vide : la pompe et l'affinité.

APPAREILS CARRÉ.

Les appareils qui ont vraiment atteint jusqu'à ce jour la plus grande perfection industrielle, qui ont donné lieu aux exploitations les plus sérieusement utiles, sont les appareils imaginés par M. Carré et reposant sur l'expérience de Faraday. L'idée nouvelle qui les distingue de tous les autres, c'est la production du vide et de la volatisation par l'action de l'affinité seule.

Je prends la liberté de rappeler en quelques mots l'expérience qui leur a servi de point de départ. L'illustre savant anglais étudia le propriétés de différents gaz réputés incondensables et parvint à en liquéfier un grand nombre sous la double influence de la pression et du refroidissement. Son procédé extrêmement simple consiste dans l'emploi d'un tube de verre suffisamment résistant, recourbé en U. Dans l'une des branches du tube il met un corps pouvant, sous l'influence de la chaleur, dégager en abondance le gaz qu'il veut étudier; il maintient l'autre branche dans un mélange réfrigérant; notamment il met dans son tube du chlorure d'argent bien sec ayant absorbé des quantités considérables de gaz ammoniac. Il chauffe, et au bout de peu de temps, il obtient dans la seconde branche un liquide qui n'est autre que du gaz ammoniac liquéfié.

Il remarqua qu'en abandonnant le tube à lui-même, il se refroidissait lentement, et que, pendant le temps du refroidissement, le gaz ammoniac se volatilisait en venant se réabsorber dans le chlorure d'argent; il remarqua même que la volatisation du gaz ammoniac produisait, en s'effectuant ainsi, un froid très-intense.

Il est peu d'exemples qui montrent d'une manière aussi frappante combien est lente la marche de l'esprit humain, puisqu'il a fallu, pour que l'on songeât à utiliser cette remarquable expérience, plus de trente années. Peut-être cela tient-il à ce qu'il est fort rare de voir répéter dans les cours, l'expérience complète de Faraday : on montre le plus souvent aux élèves un tube sorti pour ce jour des collections où il est soigneusement enfermé, et on se garde bien de le faire fonctionner, parce que son expérimentation demande quelques précautions.

Quoi qu'il en puisse être, M. Carré à fondé, sur l'observation de Faraday, en remplaçant le chlorure d'argent ammoniacal extrêmement

coûteux par de la solution ammoniacale concentrée, deux appareils remarquables : l'un à travail intermittent, l'autre à travail continu. Parlons d'abord du premier qui nous amènera très-simplement au second.

L'appareil intermittent se compose de deux réservoirs solidement construits, d'inégale capacité : le plus gros s'appelle *chaudière*, le plus petit *congélateur*. Dans la chaudière, jusqu'aux 3/4 de sa hauteur, se trouve une solution de gaz ammoniac dans l'eau marquant de 28 à 29° à l'aréomètre de Cartier. Un tube de communication réunit la chaudière au congélateur ; il porte un renflement qui renferme deux soupapes ouvrant en sens inverse : l'une destinée au dégagement du gaz, l'autre à son retour. La chaudière est mise sur le feu, et le congélateur dans l'eau la plus froide qu'on ait à sa disposition ; le gaz ammoniac abandonne l'eau qui le tenait en dissolution, pour se rendre dans le congélateur. Au bout d'un certain temps de chauffage, vers 130 à 140° centigrades, la presque totalité du gaz ammoniac a passé dans le congélateur où il s'est liquéfié sous l'influence de la pression et du refroidissement, de sorte qu'à ce moment, on a d'une part, une chaudière contenant de l'eau presque pure et à une température assez élevée, et d'autre part, un congélateur contenant une quantité notable de gaz liquéfié qui, comme on le sait, bout à une température de 40° degré au-dessous de zéro sous la pression ordinaire. Il suffira de provoquer convenablement son évaporation pour obtenir dans le congélateur cette température et un très-grand nombre de calories négatives qu'on utilisera suivant ses besoins. Pour arriver à ce but on refroidit la chaudière par un courant d'eau froide ; la tension qui y était de 8 à 10 atmosphères s'abaisse immédiatement, et, sous l'influence de ce vide relatif, commence la distillation du gaz ammoniac. Elle s'arrêterait bientôt si on ne détruisait à chaque instant les vapeurs qui se dégagent ; elles sont à cet effet amenées par un tuyau plongeur au fond de la chaudière, où elles sont absorbées par le liquide qui y est contenu, de manière que, quand l'ébullition du gaz liquéfié a cessé, l'appareil se trouve ramené à ses conditions originaires, c'est-à-dire à une chaudière contenant de la solution ammoniacale concentrée et froide et un congélateur prêt à recevoir une nouvelle condensation.

Ces appareils extrêmement simples peuvent s'utiliser dans un très-grand nombre de cas. Rien ne limite leurs dimensions ; néanmoins il y a dans l'intermittence de leur travail des conditions qui ne se prêtent pas facilement à de grandes fabrications industrielles. C'est ce qui a amené M. Carré à inventer les *appareils continus* qui ne sont que le développement logique de ceux que je viens de décrire.

Qu'on veuille bien remarquer que le travail des appareils intermittents s'accomplit en deux phases successives : le chauffage et la congélation, — et que, pendant ces deux périodes de but inverse, chacun des organes de l'appareil accomplit deux fonctions totalement inverses. Ainsi dans la première période, la chaudière distille du gaz ammoniac, le congélateur

le condense; — dans la seconde période, la chaudière condense le gaz ammoniac distillé par le congélateur.

Pour créer un appareil dont le travail soit continu, il faudra lui donner quatre organes où s'accompliront simultanément les opérations qui s'éxécutent successivement dans les deux organes de l'appareil intermittent. Ainsi cet appareil devra posséder une chaudière A (fig. 1)

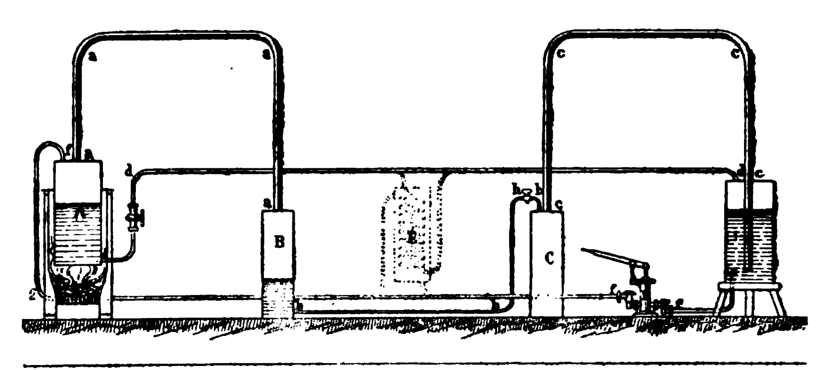


Fig. 1.

qui distillera du gaz ammoniac, un liquéfacteur B qui le condensera, un congélateur ou volatilisateur C qui le distillera et enfin un absorpteur D qui le recueillera. — Ces différents organes seront mis en communication par : 1° un tuyau *aa*... allant de la partie supérieure de la chaudière au sommet du liquéfacteur; 2° un tuyau *bb*... partant du bas du liquéfacteur pour se rendre au haut du congélateur; 3° un tuyau *cc*... partant du sommet du congélateur pour se rendre au vase à absorption; 4° un tuyau *dd*... partant du fond de la chaudière pour se rendre au vase à absorption; et 5° un tuyau *ff*... allant du fond du vase à absorption au sommet de la chaudière. Cet appareil se complétera par une pompe F, placée sur le parcours du tuyau *ff*... qui va du vase à absoption à la chaudière; un robinet *g*, placé sur le trajet du tuyau *dd*... et enfin un robinet *h*, placé sur le parcours du tuyau *bb*....

Pour se rendre compte des différentes évolutions que vont effectuer, à travers ces organes, le gaz ammoniac et l'eau successivement combinés et séparés, il faut remarquer :

Premièrement, que la distillation du gaz ammoniac dans la chaudière A et sa condensation dans le liquéfacteur B s'effectueront sous une pression entretenue constante d'environ 10 atmosphères;

Secondement, que sa volatilisation et son absorption s'effectueront sous une pression entretenue constante d'environ 1 atm. 1/2, suffisante pour obtenir, dans le congélateur, une température déterminée et dans le vase à absorption une concentration convenable de la solution ammoniacale;

Troisièmement, que la distillation de la solution ammoniacale dans

la chaudière A, s'effectuant doucement en vase clos, il se produira dans cette distillation une décantation qui, pour ne pas être très-sensible, fera néanmoins que la solution ammoniacale la plus appauvrie se trouvera à la partie inférieure de la chaudière.

De ces données on conclut : 1° que le gaz ammoniac circule sans obstacle de la chaudière au liquéfacteur; 2° qu'il se rendrait immédiatement du liquéfacteur au congélateur, si on n'avait soin d'interposer sur son parcours le robinet *h* pour régler son écoulement; 3° que le gaz volatilisé tend à se répandre du congélateur où il se produit au vase à absorption où il se détruit; 4° que le liquide pauvre voyagerait immédiatement de la chaudière dans le vase à absorption sans l'interposition du robinet *g;* 5° que l'enceinte du vase à absorption étant à une pression inférieure de 8 atm. 1/2 à celle de la chaudière, la solution ammoniacale riche qui s'y formera, ne pourra rentrer dans la chaudière pour y subir une nouvelle distillation, que par l'intermédiaire d'une pompe ou de tout autre organe de restitution.

Pour conduire ces appareils, il faudra donc : chauffer la chaudière afin d'effectuer la distillation du gaz ammoniac et sa liquéfaction ; régler le robinet d'écoulement du gaz liquéfié dans le congélateur, ainsi que le robinet d'écoulement du liquide pauvre dans le vase à absorption; enfin, faire marcher la pompe de manière à établir un parfait équilibre entre la quantité de solution ammoniacale reconstituée dans le vase à absorption et la quantité de solution décomposée dans la chaudière.

Le réglage respectif des deux robinets de gaz liquéfié et de liquide pauvre est toute la marche de l'appareil, car c'est lui qui détermine la pression du vase à absorption d'où résulte celle du congélateur, et par suite l'ébullition du gaz ammoniac à une température déterminée.

L'appareil se complète par différents organes secondaires ayant pour but d'en rendre le fonctionnement plus commode et plus économique. Ainsi le gaz liquéfié, avant de s'écouler dans le congélateur, s'accumule dans un récipient garni d'un tube indicateur de niveau qui permet de juger continuellement la quantité de gaz dont on dispose, et par suite aide au réglage. — Le liquide pauvre qui doit arriver refroidi dans le vase à absorption obtient ce refroidissement dans un échangeur de température analogue à ceux que je vous ai antérieurement décrits, et au moyen duquel il réchauffe le liquide riche qu'on prend froid au vase à absorption, et qu'on a intérêt à renvoyer chaud dans la chaudière; cet appareil E, figuré en ponctué sur le dessin, se trouve placé sur le trajet du tuyau *dd...*

J'ai insisté plus haut sur l'importance du réglage respectif des robinets d'écoulement. On comprendra aisément combien ces organes sont dignes de fixer l'attention, quand on voudra bien se reporter au très-simple calcul que voici :

L'expérience démontre que, pour produire 2500 calories négatives ou à peu près 25 kilogrammes de glace à l'heure, il faut liquéfier environ

10 litres de gaz qui s'écoulent du liquéfacteur sous une pression différentielle d'environ 8 atmosphères 1/2, c'est-à-dire comme s'ils sortaient par un orifice en mince paroi placé au fond d'un vase dont la hauteur serait de 88 mètres. Dans ces conditions, la vitesse d'écoulement serait, d'après la formule de Toricelli, d'environ 40 mètres à la seconde; il en résulte pour l'orifice, des dimensions pratiquement insaisissables. Bien que l'organe d'écoulement dont nous nous servons n'ait pas encore atteint une perfection idéale, j'en ferai néanmoins la description parce qu'il donne de bons résultats pratiques. Il se compose d'un tube en fer, fendu suivant deux génératrices opposées et entrant très-exactement à frottement dur dans une douille placée au fond d'une boîte hermétique où s'accumule le gaz liquéfié. Ce tube est relié à une tige de fer dont la partie inférieure porte une embase qui vient écraser une rondelle d'étain sur l'orifice de la douille, de manière à assurer l'étanchéité de la fermeture. Le gaz liquéfié s'écoule quand le tube sort de la douille, et son écoulement est réglé par la grandeur de la lumière découverte. Le mouvement du tube est produit par celui de la tige à laquelle il est lié et dont l'extrémité, terminée en vis métrique, est mise en mouvement par une manivelle formant écrou; un tube de caoutchouc, lié d'une part à la tige mobile et d'autre part au couvercle supérieur du robinet, permettra le jeu de l'appareil sans donner issue au gaz ammoniac.

Je n'entreprendrai pas de donner tous les détails de construction de ces appareils; ils sont fort nombreux et ont généralement donné lieu à d'assez notables difficultés tenant d'une part aux grandes pressions auxquelles sont soumis les organes, et d'autre part à la subtilité du gaz ammoniac et à ses propriétés.

Avant de terminer cette rapide exposition, je dois faire remarquer que le principe sur lequel s'appuient les appareils de M. Carré est général, c'est-à-dire qu'il ne s'applique pas seulement à la dissolution du gaz ammoniac dans l'eau, mais qu'il permet de construire tous les appareils mettant en usage tous les corps susceptibles d'affinité à de basses températures, et de dissociation à des températures plus élevées.

APPLICATIONS.

Je m'occuperai immédiatement des applications du froid artificiel. Chacun se rend compte de leur importance; je vais en énumérer quelques-unes, en m'étendant davantage sur celles qui ont déjà reçu la plus grande consécration de la pratique et sur celles qui présentent le plus grand intérêt.

Je prendrai la liberté de m'occuper plus particulièrement de celles qui sont relatives aux appareils à absorption auxquels je me suis consacré.

Les *appareils intermittents* sont presque uniquement employés à la fa-

brication, dans les familles, des sorbets et de la glace. Leur manœuvre est élémentaire et la dépense qu'ils occasionnent est presque nulle.

Ils ne sont autres que ceux que j'ai décrits antérieurement.

On place sur le feu le récipient contenant la solution ammoniacale, on le chauffe jusqu'à la température de 130 à 150°; pendant cette opération, on a eu soin de baigner complétement le congélateur dans un baquet contenant de l'eau aussi froide que possible.

Quand le thermomètre a appris qu'on était arrivé à la température prescrite, on enlève la chaudière du feu ; on la place à son tour dans le baquet d'eau, et on met dans l'avéole du congélateur les objets sur lesquels on veut opérer, en ayant soin d'interposer un liquide incongelable entre les parois du vase qui les contient et celles de l'appareil.

Ils sont généralement chauffés au charbon de bois; on pourrait, néanmoins, employer tout combustible et particulièrement le gaz d'éclairage d'un usage aujourd'hui si répandu.

La dépense pour produire un kilogramme de glace avec ces appareils n'est guère que de 5 à 6 centimes, en ne tenant pas compte de la main-d'œuvre et du prix d'acquisition de l'appareil.

On les emploie aussi dans les laboratoires pour obtenir de très-basses températures. On peut, en refroidissant énergiquement la chaudière, congeler le mercure; mais cette expérience demande quelques soins.

FABRICATION DE LA GLACE.

Les *appareils continus* ont des usages beaucoup plus étendus. Leur emploi le plus général est la fabrication de la glace.

Pour cet objet, les congélateurs sont composés de serpentins à branches horizontales placés verticalement à une certaine distance les uns des autres. Ils sont enfermés dans une bâche en tôle renfermant une grande quantité de liquide incongelable. Entre les serpentins plongent des vases cylindriques en métal mince qui doivent servir de moules à la glace. Ces vases ont des sections variables, circulaire, rectangulaire ou carrée; chacune de ces formes présente ses avantages et ses inconvénients; chaque cas particulier décide de leur emploi. Les parois du congélateur sont garanties contre le rayonnement par une bâche en bois contenant de la sciure ou autre substance non conductrice. La fabrication doit être réglée de manière qu'en marche normale il y ait toujours un vase complétement gelé quand on en introduit un complétement plein d'eau, les autres étant à un degré d'avancement variable entre ces deux limites.

La température moyenne à laquelle on opère varie entre — 10° et — 12°.

Le prix de revient d'un kilogramme de glace peut s'abaisser, dans des circonstances favorables jusqu'à un demi-centime, en tenant compte de tous frais accessoires, car les dépenses de main-d'œuvre et de combustible sont très-faibles.

Si l'on veut ici formuler le rendement théorique de ce genre de machine, il suffira de se rappeler qu'un kilogramme de houille donne, par sa combustion, naissance à 6000 calories positives qui devraient se transformer par le travail en 6000 calories négatives, soit environ 60 kilogrammes de glace. Nous sommes bien loin de ces données, mais nous obtenons, dans les cas favorables, de 15 à 18 kilogrammes de glace par kilogramme de charbon brûlé : résultat pratique qui est supérieur au résultat théorique donné par M. Péclet pour les appareils à air comcomprimé.

La glace produite est aussi pure que l'eau qu'on emploie, elle est par conséquent bonne à tous les usages. Elle est d'un blanc opaque qui rappelle l'aspect de la bougie. Cette opacité a fait naître quelques préjugés fondés sur l'emploi journalier de la glace transparente, et on a été naturellement conduit à se demander pourquoi cette glace artificielle était opaque, et, partant, si on ne pourrait la fabriquer transparente. A ce sujet, on a émis bien des opinions : en premier lieu, on a supposé que ce phénomène de cristallisation particulière était dû à la présence de l'air maintenu en dissolution dans l'eau; on a fait bouillir de l'eau et on a obtenu de la glace aussi opaque qu'avec l'eau contenant de l'air. L'opinion la plus vraisemblable et que je livre sous toutes réserves, car elle ne peut que difficilement se contrôler, c'est que, sous l'influence d'une température basse constante, la glace, obligée de se former rapidement, se prend en aiguilles entre lesquelles se trouvent enfermées des gouttelettes d'eau non congelée que le froid parvient difficilement à atteindre et qui brisent, lors de leur congélation définitive, les cellules qui les enferment. Quoi qu'il en soit des opinions émises sur ce sujet, il est certain que l'excès d'une température basse, sa transmission rapide au cœur de la masse à geler, sont la cause de ce phénomène. Il est en effet extrêmement facile d'obtenir de la glace artificielle entièrement transparente, en la faisant geler lentement à une température voisine de zéro. Mais, malgré le certain intérêt qui s'attacherait à ce produit, on doit, quant à présent, renoncer à l'obtenir industriellement; car la raison et l'expérience indiquent également que, sur une surface déterminée d'une nature déterminée, il se produit à une certaine température, pendant un temps donné, un poids de glace constant, poids qui suit, avec l'élévation de la température, une progression rapidement décroissante dont on pourrait trouver la loi. Sans être mathématiquement définie, elle indique que, pour travailler convenablement dans le voisinage de zéro, il faut employer des surfaces considérables et par conséquent construire des appareils fort coûteux.

On s'est demandé si la glace artificielle fondait plus rapidement au contact de l'air que la glace naturelle. L'expérience a semblé donner un avantage à la glace artificielle, dû probablement à ce qu'elle contient

dans ses pores les molécules d'air qui paraissent avoir été chassées de la glace naturelle.

CARAFES FRAPPÉES.

La fabrication industrielle des carafes frappées a aussi donné lieu à une exploitation utile. Aujourd'hui encore beaucoup de carafes frappées sont obtenues au moyen d'un mélange réfrigérant composé de glace pilée et de sel marin, ce qui est coûteux et mal commode. Avec des appareils réfrigérants, frapper des carafes en aussi grand nombre que l'on veut est aussi facile que de faire de la glace. On peut les obtenir à bas prix, et par conséquent en développer beaucoup la consommation encore assez restreinte.

CONCENTRATIONS.

Le fait de ce qu'on peut appeler la distillation par le froid, c'est-à dire la séparation de l'eau, à l'état de glace pure, des éléments étrangers qu'elle peut produire, a été et doit être la source de nombreuses applications.

Par elle on peut ramener l'eau de mer à l'état d'eau douce.

Elle a été appliquée avec des succès variables à la concentration de certaines eaux minérales.

En ce moment même, nous faisons avec M. Alvaro Reynoso, chimiste très-distingué de la Havane, des études sur la concentration des jus sucrés.

Le principe sur lequel reposent toutes ces exploilations et ces tentatives, se dégage des observations faites par les voyageurs qui ont remarqué qu'aux pôles l'eau de mer donne de la glace douce, — et des pratiques que certains vignerons emploient pour bonifier leurs vins. En effet, si on abandonne à lui-même, pendant une nuit suffisamment froide, un vase contenant du vin, de manière que la surface se congèle sur une faible épaisseur, la couche ainsi formée sera de la glace pure. Seulement, de même qu'une distillation, pour se bien former, doit être entourée de précautions, de même la congélation réclame des soins minutieux pour que la séparation de l'eau et des éléments étrangers soit bien nette. Les méthodes employées jusqu'à ce jour pour obtenir ces résultats sont au nombre de deux.

La première consiste à réaliser mécaniquement une opération analogue à l'écrémage des vins dont je vous parlais tout à l'heure. Qu'on suppose le liquide à concentrer placé dans une cuve au-dessus de laquelle tournera, sur un axe horizontal, un cylindre creux dont les génératrices inférieures y plongeront ; qu'on fasse passer à l'intérieur de ce cylindre un courant de liquide incongelable refroidi au-dessous de zéro, il est bien clair que la surface de ce cylindre va se charger de glace qui sera

pure si l'on opère convenablement. Ce moyen exige des appareils assez compliqués, et ne devient une nécessité que pour les corps qui demandent à être traités avec de grandes précautions, crainte des altérations.

L'autre méthode, plus pratique et plus généralement employée, consiste dans la formation d'un magma qu'on obtient en produisant une agitation suffisante de la substance traitée. Ce magma, analogue à un sorbet, peut être considéré comme composé de deux parties : l'une solide, qui est l'ensemble des petits cristaux de glace dont on a provoqué la formation, l'autre liquide, composée de molécules très-concentrées. Si, par un moyen mécanique, la presse hydraulique ou, mieux, la turbine, on produit la séparation souvent assez difficile de ces deux éléments, on gardera d'une part la glace formée, et d'autre part on recueillera le liquide concentré.

Chaque nouveau liquide sur lequel on opère présente des particularités qu'il faut étudier avec soin pour trouver le moyen pratique d'effectuer le travail qu'on a en vue.

BRASSERIES.

Une étude extrêmement intéressante est celle de l'application des appareils réfrigérants aux brasseries. On sait que la bière de bonne qualité doit produire sa fermentation à des températures fixes et révélées par l'expérience. Il est bien clair qu'il est très-facile de réaliser théoriquement l'obtention de ces températures; il suffit de faire passer la bière produite à travers l'appareil convenablement réglé. C'est ce qu'ont fait certains brasseurs qui se déclarent satisfaits de ce procédé. Mais, dans une pratique plus générale, il se présente quant à présent de grandes difficultés tenant à ce que chaque espèce de bière se fabrique suivant une recette très-déterminée, dans laquelle il est difficile d'intercaler la réfrigération sans changer les habitudes. Aussi plusieurs brasseurs se contentent-ils de fabriquer la glace et de l'utiliser au mieux de leurs besoins.

SULFATE DE SOUDE.

Je terminerai en vous parlant de l'application qui a reçu le plus vite une grande consécration industrielle, je veux parler de la production du sulfate de soude mise en pratique par MM. Henri Merle et C[e], dans la Camargue.

Lorsque le sel a été déposé sur le sol des marais salants, il reste des eaux mères qui, comme l'a démontré M. Balard, recèlent encore de très-grandes richesses, et entre autres du chlorure de sodium et du sulfate de magnésie.

Si on soumet ces résidus à une température de 18° au-dessous de zéro, il s'opère une double réaction ayant pour effet de fixer l'acide sulfurique sur la soude et l'acide chlorhydrique sur la magnésie, de manière qu'on obtient du sulfate de soude qui se précipite et du chlorure de magnésium qui reste en dissolution dans la liqueur.

Le congélateur dont on se sert pour produire cette réaction se compose de séries tubulaires verticales enfermées dans une bâche en tôle contenant le liquide à traiter, entre lesquelles se promène un rateau destiné à produire l'agitation du liquide et à ramasser le sulfate de soude qui s'accumule à la partie inférieure de la bâche. Les eaux à traiter arrivent à l'une des extrémités et se rendent à l'autre dans une grande caisse de repos où elles se trouvent mélangées avec le sulfate de soude ramassé par le rateau. Une drague à godets en toile métallique va chercher au fond de cette caisse le sulfate de potasse qui s'y accumule et l'amène, en partie égoutté, dans des turbines où l'action de la force centrifuge achève de le dessécher. Toutes ces opérations s'effectuent d'une manière continue. Des échangeurs de température placés sur le trajet du liquide qui arrive au congélateur, le refroidissent au contact du liquide épuisé qui en sort.

Les eaux écoulées du congélateur sont soumises à des traitements qui sortent du cadre de cette étude, et qui ont pour but d'en retirer du sel marin raffiné et de la potasse.

J'ai tenu à ne vous entretenir que des applications qui avaient été réalisées ou au moins expérimentées ; il est bien clair que l'imagination en conçoit beaucoup d'autres et que la pratique des appareils à produire le froid en fera surgir auxquelles on ne songe pas. C'est affaire de temps et d'initiative industrielle.

NOTE

SUR LES CHEMINS DE FER A PETITE VOIE,

EN BELGIQUE.

PAR M. P. REGNARD.

Dans la dernière séance notre honorable Président exprimait le vœu que quelques renseignements fussent fournis à la Société sur les chemins à petite voie actuellement existants, et entre autres sur le chemin de fer d'Anvers à Gand.

L'ouvrage publié l'année dernière par M. Félix Loisel, membre de la Société, sur les chemins de fer belges, contient relativement à ce chemin un historique intéressant des arrêtés de concession, une notice sur les statuts, le service technique, et des tableaux donnant tous les chiffres relatifs au mouvement des voyageurs et des marchandises, aux recettes et aux dépenses de l'exploitation jusqu'en 1865.

Mais ce chemin, qui a été créé en 1842, à la voie de $1^{m},15$, n'a pas été construit à petite voie par des raisons d'économie dans les mêmes conditions que ceux dont il est question dans la note de MM. Molinos et Pronnier. En effet, traversant un pays remarquablement plat, et ayant été tracé avec des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 500 mètres, il aurait pu être fait à la voie ordinaire sans grande augmentation de dépenses, et il l'aurait été très-probablement si la voie de $1^{m},50$ eût universellement existé lors de sa création.

Tel qu'il est, il a parfaitement suffi aux exigences d'un trafic qui a plus que triplé depuis son établissement, et il distribue à ses actionnaires des bénéfices qui ont atteint et dépassé 9 pour 100. Ce chemin ne peut servir, par suite des raisons que j'ai données plus haut, à établir une comparaison nouvelle entre les avantages de la petite voie et ceux de la grande au point de vue de l'économie d'établissement.

Mais il offre un intérêt tout particulier au point de vue de la question des transbordements, qui paraît dominer la discussion engagée au sein de la Société sur les chemins de fer à petite voie. En effet, depuis 1856, il se raccorde à Lokeren avec le chemin de Dendre et Waës, chemin de fer grande section, exploité par l'État, et continué par le chemin de Lokeren à Zelzaete par Terneuzen. Le mouvement des marchandises de la station de Lokeren, qui avant ce raccordement, en 1852, n'était que de 330

tonnes, soit 11 pour 100 du trafic total des dix stations à cette époque, s'est élevé progressivement depuis jusqu'à plus de 15000 tonnes en 1866 et 16800 tonnes en 1867, soit à plus de 33 pour 100 du trafic total actuel du chemin.

Le chemin de fer d'Anvers à Gand m'a donc paru offrir à ce point de vue un intérêt réel, et je me suis rendu en Belgique pour l'étudier sur place; ce sont les résultats de cette étude que je résumerai brièvement dans cette note.

Ce chemin de fer est le seul qui ait été concédé en Belgique par adjudication publique.

L'adjudication a eu lieu en 1842, et en 1844 a commencé l'exploitation de la longueur totale du chemin, soit 50 kilomètres. Ce chemin a toujours vu sa prospérité s'accroître, son trafic augmenter, et les bénéfices s'élever jusqu'à 9,13 pour 100 du capital engagé, outre que des retenues montant ensemble jusqu'à 10 pour 100 du capital, ont été prélevées pour subvenir aux accroissements de matériel exigés par l'augmentation du trafic.

Le service s'y fait comme sur les grandes lignes; la vitesse est la même. Le parcours total, de 50 kilomètres, d'Anvers à Gand, est effectué en $1^h,15$ par les trains directs, et $1^h,50$ par les trains omnibus, y compris le temps nécessaire à la traversée de l'Escaut en bateau à vapeur.

Le mouvement des voyageurs a une importance considérable, il a dépassé un demi-million en 1867. Le transport des marchandises pour la même année a été de 50000 tonnes environ.

Ce chemin de fer relie Gand à la Tête de Flandre, séparée d'Anvers par l'Escaut.

Un service spécial de bateaux à vapeur pour les voyageurs, et de chaloupes pour les marchandises, fait la traversée de l'Escaut, soit 400 mètres environ.

Ainsi que je l'ai dit précédemment, il est situé sur un sol remarquablement uni; il est à simple voie; les terrains sont acquis de Saint-Nicolas à Lokeren, sur 11 kilomètres, pour deux voies.

Le rayon des courbes varie de 800 mètres à 2000 mètres; les rampes ne dépassent pas 3 millimètres 1/2, sauf sur l'extrémité de la ligne qui aboutit à la Tête de Flandre et qui, pour dépasser la crête de la digue de l'Escaut, a dû se relever sur 500 mètres environ à 6 millimètres par mètre.

L'emprise du chemin est de $8^m,50$ de Lokeren à Gand, de 10 mètres d'Anvers à Saint-Nicolas, et de $11^m,50$ entre Lokeren et Saint-Nicolas. Vu l'absence presque complète de tranchées et de remblais, cette largeur suffirait pour l'établissement de la voie ordinaire.

Les travaux d'art comprennent, outre les embarcadères sur les deux rives de l'Escaut, un pont métallique près la Tête de Flandre, et un pont-levis sur un canal entre Saint-Nicolas et Gand.

Il y a en outre 74 ponceaux, la plupart de $0^m,50$ à $0^m,75$ d'ouverture, quelques-uns de $1^m,50$ à 2 mètres.

Si le chemin n'a qu'un seul passage inférieur et aucun pont par dessus, par contre les passages à niveau sont fort nombreux. On n'en compte pas moins de 84 sur 50 kilomètres. Les plus rapprochés sont à 50 et les plus éloignés à 1450 mètres. Ils sont surveillés par 74 cantonniers ayant chacun sa maisonnette.

Le chemin est clos par une haie vive sur tout son parcours. La voie est en rails Vignoles, éclissés, et fixés par des tire-fonds sur des traverses en chêne ou en sapin créosoté, avec plaques de joint aux extrémités des rails.

Le ballast a été obtenu par le mélange de terres de qualités diverses rencontrées sur la ligne.

Les changements de voie sont du même système que ceux du Nord français avec croisements en fonte.

Les locomotives, du système de Ridder, pèsent 13 tonnes vides, et 15 à 17 tonnes avec leurs approvisionnements. Elles ont un seul essieu moteur, les châssis et les cylindres extérieurs, ainsi que tout le mécanisme de distribution.

Elles brûlent moyennement par kilomètre $5^k,439$ de briquettes et $6^k,382$ en tenant compte des allumages et des stationnements. La dépense d'huile est de $0^k,0104$ par kilomètre.

Le réservoir d'eau a une section en forme de fer à cheval et enveloppe la partie supérieure de la chaudière. Il y a des pompes et un giffard.

Les roues motrices ont $1^m,50$, les 4 roues porteuses $1^m,10$ comme celles des wagons et voitures. Le frein consiste en un sabot en fonte venant porter sur le rail. L'écartement des essieux extrêmes est de $5^m,08$.

Il y a 9 locomotives, dont 3 en service journalier.

Le matériel roulant comporte 43 voitures et 88 wagons.

Les voitures sont semblables à celles des chemins de fer ordinaires, contenant 40, 48 et 60 places ; elles se décomposent ainsi :

8	voitures	mixtes à	6 roues	contenant	12	places de 1re classe et	16 de 2me.	
7	—	—	4	—	16	—	24	—
4	—	2me classe	6	—	—	—	48	—
2	—	2me classe	4	—	—	—	48	—
4	—	3me classe	6	—	60 places de 3e classe.			
16	—	3me classe	4	—	48	—		

Les wagons, construits pour une charge de 5 tonnes, comprennent :

43 wagons fermés à marchandises et à bétail.
10 wagons à équipages.
35 wagons plats, dont quelques-uns encore en construction.

Tout le matériel est monté sur roues de $1^m,10$; le plancher des voitures et wagons est abaissé à $0^m,80$ du sol, ce qui permet de se passer de

quais. Les roues sous les banquettes sont cachées par des coffrages en bois et en tôle. Pour les wagons plats seuls les roues n'ont que $0^m,95$ et ces wagons ont leur plancher à la hauteur de ceux de la ligne de Dendre et Waés, ce qui facilite considérablement les transbordements. Ce matériel a suffi au transport en 1867 de 505590 voyageurs et de 49835 tonnes de marchandises, non compris les bagages, ni le bétail qui s'est élevé à 8303 têtes.

Le mouvement des voyageurs en 1865 a été de 38 par jour et par voiture, celui des marchandises de $2^t,140$ par wagon et par jour.

Il y a 8 trains par jour dans chaque sens; le personnel de chaque train se compose de deux gardes.

La taxe des marchandises est établie comme suit de 100 en 100 kilogrammes.

			1re classe.	2me classe.	3me classe.
Entre les stations distantes de moins de	3	lieues (1).	$0^f.30$	$0^f.35$	$0^f.50$
— —	7	—	0 .35	0 .45	0 .65
— —	10	—	0 .45	0 .55	0 .72

Les recettes en 1867 ont été de 859559 fr. 71 c., soit 17196 fr. par kilomètre dans lesquelles :

Les voyageurs entrent pour	64.36	p. 100
Les marchandises	32.30	—
Les bagages	1.47	—
Le bétail	1.87	—

Les recettes extraordinaires montent à 15362 francs, soit en tout 875222 fr. 33 c.

Les dépenses sont établies comme suit :

	fr.	Soit par km :
Administration centrale	21440	428.80
Direction et perception	46471	929.42
Frais généraux	40494	809.88
Entretien et surveillance	99311	1086.24
Stations et gares	32114	642.28
Traction	134582	2691.64

Si on ajoute les dépenses du camionnage et celles du passage de l'Escaut, on arrive au chiffre total de 505468 fr., soit par kilomètre $10109^f,36$. Excédant des recettes sur les dépenses 369754 francs, soit 7395 fr. 08 c. par kilomètre, destinés à rémunérer un capital de 4700000 francs, soit 94000 francs par kilomètre.

Il importe de remarquer avec M. Loisel que c'est peut-être la seule Compagnie qui porte toutes ses dépenses au compte d'exploitation. Cette circonstance et le nombre considérable des passages à niveau justifient le chiffre des dépenses d'exploitation, qui au premier abord paraît élevé.

1. La lieue belge est de 5 kilomètres.

J'arrive aux questions de transbordement.

Dans le mouvement total des marchandises, qui est de 49835 tonnes, la station de Lokeren, où est situé le point de jonction avec la ligne de Zelzaëte, entre pour 16872 tonnes, dont 14775 expédiées par cette station sur le reste de la ligne, et 2097 reçues, soit un tiers du trafic total.

Une portion de ce trafic est directement fournie par la petite localité de Lokeren; mais elle est très-faible, et le chiffre total des marchandises échangées dans cette station avec le chemin de Zelzaëte ne peut guère être évalué à moins de 15000 tonnes.

Le transbordement se fait entièrement à bras, sauf pour le cas exceptionnel des pierres de taille ou des lourdes pièces de machines, pour lesquelles on emploie un appareil de levage.

Les wagons de la petite ligne peuvent venir se juxtaposer à ceux de la grande, par des dispositions de voies parallèles, ou se mettre bout à bout avec eux, la petite voie entrant dans la grande; enfin les deux voies passent sous l'appareil de levage qui est fixe, et consiste simplement en une chèvre en bois à trois pieds, avec un treuil.

Les transbordements de charbons ou d'autres marchandises pouvant se manier à la pelle, emploient la disposition des wagons sur les voies parallèles. Pour les pierres, les sacs, les caisses, les voitures, on met les wagons bout à bout, et on emploie les wagons dont le plancher est à la hauteur de ceux de la grande voie, et dont les plats-bords peuvent s'abaisser.

L'intermittence des transports, qui affluent à certains moments, pour se réduire considérablement dans d'autres, fait que ces opérations ne sont pas effectuées dans des conditions économiques.

Les chiffres des prix qui s'appliquent à ces transbordements doivent donc être considérés comme des maximum, surtout si on a égard à l'absence d'outillage.

Le total des dépenses de la station de Lokeren s'élève à 6684f,95; dans ce chiffre sont portés des salaires d'hommes, dont le service à la station est indépendant des transbordements. Ainsi il convient de retrancher de la somme ci-dessus :

1 homme pour le service des voyageurs. . .	730f,00
1 garçon de bureau	730,00
1 veilleur de nuit	547,50
	2007f,50

Restent 4677f,45; encore dans ce chiffre sont compris les salaires d'ouvriers qui ont d'autres services en même temps que celui des transbordements, ainsi l'employé préposé au magasinage et deux aiguilleurs.

Ce prix de 4677f,45 comprend les salaires d'un chef d'équipe et de six hommes, plus quelques faux frais et des primes payées aux ouvriers pour le transbordement des charbons.

La dépense pour le transbordement, les manœuvres qu'il nécessite, et la reconnaissance de la marchandise, ressort donc à $\frac{4677^f,45}{15000}$, soit $0^f,311$ par tonne.

On a parlé dans la discussion des avaries que pourrait subir la marchandise dans les transbordements. Le total des indemnités pour pertes et avaries a été, en 1867, de 1150 fr. pour toute la ligne, soit $\frac{1150^f}{50000}$, ou $0^f,024$ par tonne transportée, ce qui représente $\frac{1}{300}$ du chiffre des recettes des marchandises, et il importe de remarquer que ces avaries ne sont pas imputables au transbordement, puisqu'il m'a été affirmé par le directeur de l'exploitation que pour la station de Lokeren, le montant des sommes payées de ce chef ne monte pas au 1/10 de la somme totale, soit moins de 115 francs, ou moins de $0^f,007$ par tonne transbordée.

Quant au bétail, sur 8300 têtes, plus de 3000 proviennent de la station de Lokeren, et sur ce nombre, une partie vient du chemin de fer de Zelzaëte, sans que leur transbordement, qui est fait par les soins de leurs conducteurs, donne lieu à la moindre difficulté.

Si on tient compte, dans l'appréciation du prix de revient du transbordement pour la France, d'un prix de main-d'œuvre plus élevé, il faut, par contre, remarquer qu'on sera d'autant plus conduit à y employer des instruments de levage, grues à bras ou à vapeur, dont l'usage fera plus que compenser la différence qui existe entre les prix des salaires.

Si maintenant nous supposons un instant qu'on établisse à la voie ordinaire le chemin d'Anvers à Gand, quelle économie en résulterait dans le service des marchandises au point de vue des transbordements?

Il est certain que la totalité des marchandises ne saurait passer d'une ligne sur l'autre sans transbordement; admettant que ce transbordement ne porte plus alors que sur 1/4 du trafic de la station de Lokeren (et ce chiffre a été considéré par M. Nordling comme un minimum sur les grandes lignes actuellement existantes), il n'en faudrait pas moins à cette station une équipe d'une importance à peu près égale à celle de sept hommes actuellement nécessaires, et les dépenses ne seraient pas sensiblement diminuées. Il semble que les dépenses véritablement imputables au transbordement à cette station ne peuvent être estimées à plus de $0^f,15$ par tonne.

On peut encore citer en Belgique les chemins de fer à petite voie du haut et bas Fleuu et celui qui dessert les charbonnages du Hornu, dans le pays de Mons. Ce dernier chemin est à voie de $0^m,90$ et desservi par des locomotives. Il est un des plus anciens de la Belgique, puisqu'il remonte à 1834; mais, malgré l'extension considérable de son trafic, on le conserve à la petite voie, bien qu'il en résulte un coût de $0^f,03$ par hectolitre pour le transbordement dans les wagons de la grande voie.

Je tiens des ingénieurs du Hornu que plusieurs raisons (qui sont la confirmation des arguments présentés par M. Flachat en faveur de la petite voie) s'opposent au remplacement de la petite voie par la grande.

Sans parler de la dépense considérable à laquelle donnerait lieu le remplacement de tout le matériel et surtout la nécessité de modifier entièrement tout le tracé, on cite comme un avantage très-important en faveur de la petite voie sa flexibilité, qui lui permet de circuler aisément dans des courbes de 25 à 30 mètres, près des extractions, sur les rivages, près des bateaux et autour des tas. En outre, au Hornu, une partie assez notable des transports se faisant par bateaux donnerait lieu aux mêmes dépenses de transbordement avec la grande voie qu'avec la petite ; enfin, ce transbordement est considéré par les ingénieurs du Hornu presque comme un avantage, à ce point de vue tout particulier qu'il est l'occasion d'un second triage qui permet de livrer à la consommation des produits plus purs et en rapport avec les exigences croissantes des acquéreurs.

J'ai encore eu l'occasion de voir en Belgique un autre chemin de fer, à traction de chevaux, à voie de $0^{m},60$, construit pour le service de l'exploitation agricole de M. Dumont, à Chassart ; ce chemin offre encore de l'intérêt, en ce qu'il rejoint à la station de Marbais la ligne du Grand-Central-Belge et que son trafic donne forcément naissance à des transbordements qui portent sur la totalité des marchandises, tant expédiées que reçues.

Ce chemin n'a que trois kilomètres jusqu'à la station ; il a des embranchements vers les différents points du domaine agricole ; son développement total est de 12 kilomètres environ. Il n'a coûté que 6000 fr. par kilomètre, et il suffit amplement au transport de 10346 tonnes par an pour les seuls échanges avec la station de Marbais.

Ce chiffre se décompose par nature de marchandises comme suit :

Charbons.	5700 tonnes environ.
Céréales, sucres, marchandises en sacs. .	2450 —
Alcools, mélasses, diverses marchandises en fûts.	1595 —

Le reste, soit quelques centaines de tonnes, en marchandises diverses.

La voie d'exploitation vient longer à Marbais un quai allongé en écharpe, dont un autre côté est suivi par une voie de garage de la grande ligne; plus loin, les deux voies se côtoient, de sorte qu'on peut transborder les marchandises, soit directement d'un wagon dans l'autre, soit par l'intermédiaire du quai.

Ces transbordements sont effectués par un tâcheron au prix de $0^{f},15$ par tonne; ce prix subit, dans la saison où ces transports se ralentissent, une augmentation de $0^{f},03$.

Les frais de surveillance, réception et prise en charge à la gare revien-

nent à moins de 300 francs par an, ce qui fait encore moins de 0f,03 par tonne.

Le total des frais de transbordement, compris les frais accessoires de reconnaissance et de prise en charge, monte donc pour les trois quarts environ des marchandises à 0f,18 et pour un quart à 0f,21 par tonne.

En résumé, il me semble donc que l'objection tirée de la nécessité du transbordement pour les chemins de fer à petite voie n'a pas toute l'importance que plusieurs personnes ont paru portées à lui attribuer; et j'insisterai en outre sur ce fait, que le transbordement, dans la plupart des cas, ne sera pas une charge nouvelle, mais ne fera que se substituer à celui qui se fait maintenant de wagon à charrette et réciproquement, la petite voie se prêtant infiniment mieux que la grande par sa flexibilité et son prix bien moins élevé à pousser des embranchements dans les usines et jusque dans les fermes, et un tel transbordement remplacera l'autre avec avantage, tant au point de vue du prix de revient dans une gare disposée convenablement qu'au point de vue de l'économie de temps et des avaries.

Je ne saurais terminer cet exposé sans remercier M. le baron Prisse, membre de la Société, directeur gérant du chemin de fer d'Anvers à Gand, de la bienveillance avec laquelle il a bien voulu me fournir tous les documents de nature à me faciliter l'étude que j'avais entreprise, et aussi M. Schivre, membre de la Société, ingénieur au Hornu, et je me mets entièrement à la disposition de la Société pour fournir tous les renseignements complémentaires qui n'ont pu trouver place dans cette note et ceux qu'il me serait possible de me procurer.

NOTE

SUR UNE NOUVELLE

MACHINE A PERFORER LES ROCHES

POUR LE

PERCEMENT DES TUNNELS ET GALERIES DE MINES

INVENTÉE PAR M. PENRICE, EX-CAPITAINE DU GÉNIE ROYAL ANGLAIS,

PAR M. FELLOT.

---

§ I. Machines proposées ou essayées jusqu'à ce jour.

Les différentes machines proposées ou essayées jusqu'à ce jour pour percer les tunnels et galeries de mines peuvent se classer de la façon suivante :

1° Machines procédant par le percement de trous de mines nombreux et disposés les uns pour déterminer, les autres pour limiter l'effet de la poudre.

Cette classe est la plus générale; elle comprend un grand nombre d'appareils qui peuvent se diviser en deux catégories, suivant la disposition et le mode d'action de l'outil.

La première sera celle où l'outil est un fleuret agissant par percussion et n'ayant qu'un mouvement accessoire de rotation; il faut y ranger :

Les percusseurs à air comprimé de MM. Sommeillier, au mont Cenis, Doëring (Prusse), employé à la Vieille-Montagne, Bergstroëm (Suède), Lows (Angleterre) et celui à vapeur de M. Haupt, à Philadelphie.

La seconde catégorie sera celle où l'outil est une tarière ou une bague armée de saillies suffisamment dures, agissant par un mouvement de rotation sous une pression continue ou périodique; elle comprendra :

Les perforateurs à la main de MM. Lisbet et Jacquet et de M. Leschot, et ce dernier système combiné par M. de Laroche-Tolay avec le moteur à pression d'eau de M. Perret.

2° MACHINES supprimant l'action de la poudre et procédant par la division des masses au moyen de sillons étroits qui y sont creusés, soit par un outil à mouvement alternatif armé de couteaux, c'est la haveuse à pression d'eau de MM. Carrett, Marshall et Cie; soit par un pic oscillant, c'est la machine à découper la houille de MM. Jones et Lewick, marchant à l'air comprimé; soit au moyen de disques tournants armés de ciseaux ou de dents de scie; soit enfin par l'action de disques en plomb tournants combinée avec celle d'un corps rodant. Les trois premières ne peuvent s'appliquer qu'aux pierres tendres susceptibles de se tailler au couteau ou au pic; celles de MM. Carrett, Marshall et Cie, et de MM. Jones et Lewick sont spéciales à l'exploitation des mines de houille.

3° MACHINE mixte étendant son action à toute la section de la galerie en perforant un trou cylindrique de 1m.800, et réunissant à l'action d'un fleuret percusseur chargé de percer au centre un trou de mine, celle de ciseaux découpant en même temps un sillon d'égale profondeur sur le contour de la galerie dans le but de limiter l'effet de la mine centrale.

J'ai désigné le perforateur des capitaines Beaumont et Locock.

On voit qu'en résumé presque toutes les machines essayées jusqu'à ce jour pour attaquer les roches dures sont basées sur l'emploi de la poudre de mine.

INCONVÉNIENTS QUI RÉSULTENT DE L'EMPLOI DE LA POUDRE. — Les inconvénients qui s'attachent à l'emploi de la poudre sont les suivants : interruption du travail causée par la nécessité de retirer les machines perforatrices à l'arrière pour le bourrage des mines, leur explosion et l'enlèvement des débris après l'explosion (on sait que cette période ne prend pas moins de quatre à cinq heures au mont Cenis); dangers qui accompagnent toute explosion de mines; dans beaucoup de cas, ébranlement des couches au delà des parois de la galerie nécessitant quelquefois un boisement provisoire; difficulté d'enlèvement de débris inégaux, plus ou moins volumineux, dans une galerie étroite et réduite encore par la présence des machines; production de gaz délétères dont l'action nuisible ne peut être diminuée qu'au prix d'une ventilation énergique; irrégularité et insuffisance de cette action dans des roches fissurées; enfin la dépense d'achat de la poudre devient un élément important du prix de revient.

Ajoutons qu'une conséquence forcée du percement de trous isolés dans la masse est la nécessité de réduire en poussière tout le volume correspondant à l'action de l'outil, sans pouvoir mettre à profit la propriété que présentent en général les roches dures de se diviser en éclats plus ou moins volumineux sous l'action du choc.

La machine des capitaines Beaumont et Locock, en concentrant la

part d'action réservée à la poudre, n'échappe pas à ces inconvénients; elle rend au contraire plus frappant celui qui tient à la difficulté d'enlèvement de débris moins divisés dans une galerie complétement obstruée par l'appareil lui-même. En outre, nous ne pensons pas que l'anneau massif puisse, en raison de son étendue et du défaut d'homogénéité si fréquent dans les roches, se détacher complétement et régulièrement : on serait conduit, dans ce cas, à un travail supplémentaire à la main avant de pouvoir reprendre position.

NOUVEAU PERFORATEUR. — Le nouveau perforateur importé en France par le capitaine Penrice se distingue des précédents par les caractères suivants :

1° Il supprime entièrement l'emploi de la poudre; 2° il opère sur toute la section de la galerie au moyen de couteaux taillés en biseau et disposés de manière à désagréger la roche par éclats; ces couteaux frappent des coups rapides en même temps qu'ils tournent d'un mouvement lent autour de l'axe de percussion ; 3° les débris résultant de cette action sont menus et sont rejetés mécaniquement à l'arrière de la machine; 4° son travail est continu; il ne peut être interrompu que par le remplacement des couteaux.

En voici du reste la description détaillée :

§ II. **Description.**

Disons de suite que deux modèles ont d'abord été créés par l'inventeur pour le percement des galeries de cinq et six pieds de diamètre et que les pl. I et II, fig. 1, 2 et 3, qui accompagnent cette notice, se rapportent au plus grand. Mais le modèle de cinq pieds paraît devoir suffire et devenir ainsi le type unique et définitif. Tous deux présentent du reste les mêmes éléments moteurs et ne diffèrent entre eux que par les proportions du trépan et des organes accessoires.

Considérée dans son ensemble, cette machine présente quelque analogie avec un pilon horizontal mu par la vapeur, à cela près que le piston percusseur peut tourner en même temps qu'il frappe.

PISTON. — Ce piston A, planches I et II, qui en est l'organe principal, a la forme d'un cylindre creux, fondu en bronze d'un seul morceau avec la tête ou trépan qui le termine à l'avant. Son extrémité arrière est renflée de manière à former piston avec joint à segments; elle est fermée par un plateau. Le diamètre de ce piston est de 710 $^m/_m$; sa course, variable suivant le rapprochement de la tête du front d'attaque, est en moyenne de 50 $^m/_m$ et peut aller jusqu'à 100 $^m/_m$. Le diamètre de la tête est fixé aujourd'hui à cinq pieds anglais, soit $1^m.52$. C'est cette dimension qui détermine le diamètre de la galerie perforée.

Trépan. — La disposition adoptée en dernier lieu pour le trépan consiste en un plateau circulaire divisé en quatre secteurs occupant chacun les deux tiers de la surface d'un cadran; l'autre tiers évidé sert de dégagement au débris et de passage aux ouvriers chargés de l'entretien. Les secteurs pleins présentent une série de rainures, à section en queue d'hironde, se succédant concentriquement du centre à la circonférence. Dans ces rainures sont implantées de champ, et quatre par quatre, des lames en acier trempé, taillées en biseau, qui y sont fixées au moyen de fourrures ayant également une section à queue d'hironde, mais de sens opposé à celle de la rainure et serrées fortement entre les lames au moyen de boulons munis de freins. Les différents anneaux tranchants vont en s'étageant, par gradins, du centre à la circonférence. Leur intervalle dépend de la nature de la roche; il est de 38 m/m dans le trépan qui est représenté planche II, fig. 4.

Cylindre. — Le piston se meut dans un cylindre en fonte B (Planche I) à fond plein à l'arrière du percusseur, et garni d'un stuffing-box à l'avant. Ce cylindre reçoit le fluide moteur par l'orifice O, qui est mis alternativement en communication avec le tuyau d'admission T et le tuyau d'échappement T' par le jeu d'une soupape équilibrée formée de deux pistons se mouvant verticalement dans le cylindre C, qui fait ici l'office d'une boîte à tiroir à laquelle aboutissent les deux conduites.

La face avant du piston communique d'une manière permanente avec l'admission au moyen d'un canal spécial. Le fluide moteur agissant sur la surface annulaire SS forme un matelas élastique favorable à la conservation du cylindre et suffisant pour opérer le mouvement rétrograde du piston après qu'il a frappé, c'est-à-dire pendant la période d'échappement du fluide qui vient d'agir sur la face arrière.

La force d'impulsion est donc le produit de la différence des surfaces d'arrière et d'avant par la pression effective du fluide moteur.

Cylindre moteur. — Le cylindre C est lui-même surmonté d'un autre plus petit D, qui n'est autre qu'un cylindre à vapeur ordinaire, avec sa boîte à tiroir E recevant le fluide moteur par une conduite séparée et s'échappant par un branchement dans la grande conduite d'échappement du cylindre B. La tige du piston de ce petit cylindre, traversant le cylindre C, y transmet son mouvement alternatif à la soupape distributrice du grand cylindre, et vient commander à son extrémité inférieure l'arbre coudé F, qui règne longitudinalement dans l'intérieur du bâti, depuis ce point jusqu'à l'arrière, où il se termine par un volant massif de petit diamètre. Cet arbre transmet le mouvement au moyen de pignons à vis et roues à dents hélicoïdales aux trois arbres transversaux G, H et J (Pl. I et II, fig. 2 et 3), qui ont les fonctions suivantes :

Rotation du trépan. — L'arbre G, au moyen de deux arbres intermédiaires, actionne d'un mouvement lent un arbre *gg*, qui, incliné sur le piston perpendiculairement à son axe, engrène par un pignon à vis avec la roue hélicoïdale R, fixée sur ce piston par deux clavettes. Ces clavettes, engagées à demeure dans l'une des parties, rendent le piston solidaire du mouvement de rotation de la roue, sans gêner son mouvement alternatif. L'arc parcouru sur la circonférence extérieure du trépan, par suite de ce mouvement de rotation, est de $0^m,0026$ par coup, soit $1^m,04$ par 1'. Bien que ce mouvement de rotation accompagne ordinairement le mouvement de percussion, il est susceptible d'un débrayage qui s'exécute au moyen du levier *ee*, qui agit en éloignant, jusqu'à ce qu'elles échappent, les dents des deux roues d'angle *a* et *a'*.

Toute cette transmission qui, dans la planche II, est figurée sur le côté gauche de la machine, a été depuis reportée sur le côté droit, où se trouvent déjà les conduits d'admission et d'échappement, de manière à dégager le plus possible le premier côté, en vue de l'accès du trépan et du renouvellement des couteaux.

Progression de la machine. — L'arbre H, par l'intermédiaire des arbres *hh* et *h'h'*, placés symétriquement de chaque côté du bâti, transmet le mouvement de rotation à deux galets L et L', à jantes larges et armées d'aspérités, disposés obliquement de façon à ce que leurs plans médians convergent vers l'axe de la galerie (Pl. II, coupes 5 et 6). Ces galets sont destinés à assurer l'avancement de la machine à mesure qu'elle pénètre dans la roche : mais pour qu'ils aient une adhérence suffisante et qu'ils puissent, même à l'état de repos, venir en aide à l'inertie due au poids de la machine, en opposant une résistance au mouvement de recul, le système se complète par un troisième galet M placé à la partie supérieure et susceptible d'un serrage énergique. Dans ce but, son axe situé dans le même plan que ceux des deux autres est monté sur un double palier en fer, qui peut glisser dans des rainures réservées dans les flasques en fonte, qui, à cet endroit, surmontent le bâti général. Une vis manœuvrable par une barre à la main, permet de donner à ce palier un serrage, dont l'intensité correspond à la flexion d'un ressort Brown, interposé entre le palier et le point d'action de la vis. Ce ressort conserve au système une certaine flexibilité, dont les galets moteurs profitent pour surmonter les inégalités qu'ils sont exposés à rencontrer dans leur marche.

Le mouvement de progression résultant des rapports des nombres de dents des trois roues hélicoïdales et du diamètre des galets qui composent cette transmission est de $0^m,0587$ par 1', soit par coup $0^m,000147$. Cette vitesse dépasse de beaucoup celle qu'il est permis d'espérer dans des roches assez dures pour justifier l'intervention d'une semblable machine. Aussi un embrayage à manchon, monté sur l'arbre H et com-

mandé par le levier KK, donne au mécanicien la faculté de régler la marche, suivant l'avancement du trépan.

MOYEN D'AMENER LES DÉBRIS A L'ARRIÈRE DE LA MACHINE. — L'arbre J, d'un embrayage également facultatif, transmet le mouvement, par l'intermédiaire de deux chaînes Galle et de pignons appropriés, au rouleau N, et, par l'action de ce rouleau et d'un autre semblable placé à l'avant de la machine, à une chaîne sans fin armée de palettes solides. Cette chaîne, se développant dans l'espèce de canal formé par la partie inférieure du bâti, a pour fonction de rejeter à l'arrière de celui-ci les débris menus qui viennent se rassembler dans l'arc inférieur de la galerie, en amont de ce canal. La vitesse avec laquelle se développe la chaîne est de 10m,05 par 1', soit 0m,025 par coup.

APPUI PARTICULIER A L'AVANT. — Les points d'appui fournis par les galets décrits ci-dessus assurent à la machine une assiette solide à l'arrière, en même temps que le moyen de progresser; mais il fallait un second appui à l'avant près du trépan. Il a été obtenu au moyen d'un sommier PP, épousant extérieurement le cylindre engendré par le trépan, se reliant, à l'arrière, au bâti général par deux articulations *p* et *p'*, et sur lequel le bâti, à son extrémité d'avant, vient s'appuyer par l'intermédiaire de deux vis V et V'. La manœuvre de ces vis permet de régler la position de la tête et d'assurer ainsi la direction continue de l'axe de la galerie. Cette condition est du reste indispensable pour obtenir le meilleur résultat de l'action des couteaux qui doivent toujours frapper dans le même sillon.

DISPOSITIONS ACCESSOIRES. — Pour terminer cette description, il nous reste à signaler quelques dispositions accessoires (Pl. 1) : 1° le tuyau en arc QQ, qui, placé immédiatement derrière le trépan, à la partie supérieure de la galerie, projette, par les nombreux petits trous dont il est percé, une pluie d'eau froide sur le front d'attaque. La quantité d'eau projetée doit être suffisante pour éviter d'une part l'échauffement des couteaux dans les roches dures, d'autre part leur empattement dans les roches moins dures, et enfin dans les deux cas, pour entraîner les débris.

2° Une tringle XX qui, régnant sur toute la longueur de la machine et pouvant glisser dans des supports à douille, permet au mécanicien, qui doit en avoir constamment la poignée à la main, de se rendre compte à tout moment de l'avancement de l'outil, de la course à laquelle il bat et par suite des manœuvres qu'il doit effectuer.

3° Des robinets purgeurs disposés aux extrémités du cylindre.

4° Enfin une béquille, qu'on peut fixer à volonté à l'arrière du bâti au moyen d'une articulation mobile dans le plan vertical, offre la ressource de prendre une buttée supplémentaire sur le sol de la galerie, afin de s'opposer au recul de la machine. Une vis de rallonge s'enga-

geant dans la béquille comme écrou, permet de donner à cette buttée toute la roideur et toute l'efficacité désirables.

Mode d'action. Mise en marche. — La machine étant au repos, le mécanicien, dont la place est à l'arrière du volant, sur un petit tablier disposé en saillie, doit, pour la mise en marche, ouvrir doucement le robinet α, qui commande l'admission au tiroir du petit cylindre vertical, aussitôt après il ouvre l'admission au grand cylindre commandée par le clapet β; en ouvrant plus ou moins le premier clapet, il accélère ou ralentit la vitesse, rend les coups plus ou moins fréquents; en ouvrant plus ou moins le second, il augmente ou diminue l'énergie des coups.

Dans le cas où l'air comprimé est employé comme moteur, le tuyau d'échappement peut s'arrêter à l'arrière de la machine, et l'air qu'il rejette sert à l'aérage et à la ventilation. La conduite d'admission se prête au mouvement de progression, soit au moyen de fourreaux de rallonge glissant dans des presse-étoupes dans le cas de la vapeur, soit au moyen d'un bout en caoutchouc dans le cas de l'air comprimé. En marche, le mécanicien se réglant sur les repères de la tringle XX, suit avec attention l'avancement du trépan, pour ne point dépasser la course du piston qui convient le mieux à la roche dans laquelle il opère. Il embraie ou débraie à propos la transmission qui commande le mouvement de progression. Il n'y a pas d'inconvénient à laisser fonctionner d'une manière continue le mouvement de la chaîne pour l'enlèvement des débris, et quant à celui de rotation du percusseur, comme c'est le cas ordinaire, on n'a pas jugé à propos d'en mettre le débrayage à la main du mécanicien.

Aspect général. Construction. — La description précédente indique assez que c'est une machine d'une puissance considérable. Le poids total de la machine du grand modèle est de 14500 kilog., dans lequel le piston percusseur entre à lui seul pour 2500 kilog. environ. Son aspect général répond en tout point à l'idée qu'on doit s'en faire, d'après le genre de travail qu'elle est appelée à produire. La construction en est simple et solide. La simplicité de l'ensemble tient à cette idée d'avoir fait dépendre tous les mouvements d'un seul moteur marchant à la vitesse même du percusseur; la conséquence a été la nécessité d'employer, pour réduire cette vitesse à celle des mouvements accessoires, des transmissions hélicoïdales. Bien que ces organes de transmission soient d'une fabrication difficile, ils sont d'un effet certain et ne sont pas délicats. Je crois qu'en somme ils s'useront peu, parce que la vitesse des arbres transversaux se trouve immédiatement réduite à 12, 13 et 30 tours seulement par 1'.

L'emploi du bronze pour le piston et son trépan a été motivé par la

nécessité de donner à cette pièce la plus grande résistance relative unie à la moindre élasticité; on sait en effet que le coefficient d'élasticité du bronze est le quart environ de celui de la fonte. La forme et les dimensions de cette pièce importante ont été étudiées dans le même esprit.

Nous ne pouvons également attribuer qu'à cette préoccupation l'emploi du même métal dans la fabrication de la plupart des roues d'engrenage des transmissions accessoires.

Comme détails de construction dignes d'attention, nous citerons :

Le mode de fixation des couteaux; il est simple, solide, d'un montage rapide et permet un serrage successif à mesure que les surfaces se maculent.

Le système de tiroir pour l'admission du grand cylindre; sa position verticale et l'action équilibrée de la pression sur les deux pistons dont il est formé, rendent les frottements aussi faibles que possible et lui donnent la mobilité dont il a besoin.

L'étendue de la portée du piston, près de la tête, dans un palier qui n'a pas moins de 320 $^m/_m$ de longueur et qui est pourvu de moyens de graissage proportionnés.

La précaution prise, dans le montage, de faire battre la tête du piston contre ce palier avant que son extrémité opposée n'atteigne le fond du cylindre et ne puisse le briser. Quand le conducteur de la machine s'aperçoit de ce choc de la tête contre le palier, il n'a, pour le faire cesser, qu'à accélérer la marche de la machine.

Une intention semblable a conduit à intercaler dans la transmission du mouvement de rotation au piston deux roues d'angles en fonte ordinaire, destinées à se casser dans le cas où le trépan rencontrerait dans ce mouvement des obstacles imprévus et exceptionnels.

§ III. Intensité des coups. — Travail développé. — Choix du fluide moteur. — Puissance du générateur.

INTENSITÉ DES COUPS. — Quel que soit l'agent moteur adopté, la pression nominale regardée par l'inventeur comme strictement nécessaire pour une marche normale de 400 coups à la minute, avec course moyenne de $0^m,05$, est de 4 atmosphères. La force totale d'impulsion du piston en avant résulte donc du produit :

$$\pi R^2 \times 3^{kg},0976 = 8468^{kg},$$

dans lequel R, rayon de la partie du cylindre répondant à la surface d'action effective, est exprimé en centimètres et est égal à $29^c,5$.

L'intensité du choc ou le travail qui lui correspond sera donné par la

valeur du terme $\frac{1}{2} m. V^2$, dans lequel $m = \frac{P}{g} = \frac{2500^k}{9,81} = 255$ et $v = \frac{800 \times 0^m,05}{60} = 0^m,63$; on obtient 53,8 kilogrammètres.

Travail développé. — Le travail développé dans l'action du fluide moteur sur le piston percusseur est fourni par le produit :

$$\frac{400}{60} \pi R^2 C = \frac{400}{60} . \pi . (29^c,5)^2 \times 0^m,05 \times 3^k,0976 = 2820^{km}.$$

Celui résultant de l'action du fluide moteur dans le petit cylindre s'obtient par la formule :

$$T = \frac{800}{60} \pi r^2 \times z_0 \times p \left\{ 1 + 2,3026 \log . \frac{z}{z^0} - \frac{p'}{p} \times \frac{z}{z_0} \right\}$$

dans laquelle :

r — rayon du piston exprimé en centimètres = 10 c.

p — pression absolue dans le cylindre correspondant à $3^{atm},5$, soit $3^{kg},614$ par centimètre carré.

p' — contre-pression derrière le piston répondant à $1^{atm},1$, soit $1^{kg},140$ par centimètre carré.

z — course totale égale à $0^m,08$.

z_0 — course d'admission à pleine vapeur égale à $0^m,04$

$\frac{z}{z_0} = 2.$

T — travail développé en kilogrammètres 644

Travail total. 3464

Soit $46^{chev},2$.

La vitesse, la course du grand cylindre et la pression pouvant varier dans des limites assez étendues, il convient de ne considérer ce résultat que comme un minimum.

Choix du fluide moteur. — Puissance du générateur. — L'agent employé jusqu'ici dans les essais a été la vapeur ; mais il est évident que celui qui est désigné par les conditions d'exploitation est l'air comprimé. Sous ce rapport, il n'y aura qu'à profiter de l'expérience acquise et à imiter les installations faites soit au mont Cenis, soit ailleurs.

Déterminons les volumes de fluide nécessaires par 1″ pour l'alimentation des deux cylindres :

Pour le grand : $V = \frac{400}{60} \pi R'^2 C . = \frac{400}{60} \pi . (0^m,355)^2 \times 0^m,05 = 0^{mc},13$

Pour le petit : $v = \frac{800}{60} \pi . r^2 . z_0 . = \frac{800}{60} \pi . (0^m,100)^2 \times 0^m,04 = 0\ ,01$

Ensemble. . . . . . . 0 ,14

S'il s'agit de la vapeur, ce volume doit être augmenté de 25 pour 100, pour tenir compte de l'eau entraînée, de la vapeur condensée dans le trajet et des pertes de toute espèce, et il faudra produire par seconde un volume de vapeur égal à. 0^{mc},185

Soit, par heure, un volume de . . . . 666^{mc},000

dont le poids, à une pression de 4 atmosphères, sera. . . . . 1400^{ks},000

C'est une chaudière de 70 mètres carrés de surface de chauffe consommant environ 235 kilogrammes de charbon par heure.

S'il s'agit de l'air comprimé, il suffira d'augmenter le volume 0,149 trouvé ci-dessus de 5 p. 100, pour tenir compte des fuites dans les conduites, et il faudra produire 0^{mc},1565 d'air comprimé à 4 atmosphères par seconde. Le travail à fournir pour la compression du volume correspondant, 0^{mc},626 d'air libre, sera donné par la formule :

$$Tu = P_0 V_0 \times 2,3026 . \log. \frac{P_1}{P_0} .$$

$P_0 = 10^m,333$.
$V_0 = 0^{mc},626$.
$\frac{P_1}{P_0} = 4$.

Tu = travail utilisé en grandes unités dynamiques. 8,953

Attribuant aux compresseurs un rendement de 0,70, le travail moteur qui sera nécessaire pour la compression du volume d'air consommé par seconde sera. 12,790

Soit : 170^{chev},5.

Pour comparer ce travail moteur à celui développé par la machine, il convient de remarquer que le volume de fluide à fournir pour l'alimentation du grand cylindre excède celui utilisé dans l'action du piston percusseur de toute la quantité correspondant à la surface annulaire que présente ce piston à l'avant. Si l'on appliquait le calcul précédent au volume réellement utilisé, on trouverait que la compression de ce volume d'air, dans les mêmes conditions de rendement que ci-dessus, exigerait encore un travail moteur de 124 chevaux, soit 2,7 fois celui qui résulte du jeu de la machine.

La conclusion à tirer de cette étude, c'est que l'air comprimé est un moteur coûteux, puisque dans la limite des pressions qui nous occupent (3 à 5 atmosphères), on ne peut guère espérer utiliser que le tiers environ de la puissance qu'il faut dépenser pour le produire. Son application aux machines à perforer, indispensable dès qu'il s'agira de galeries d'une certaine longueur, ne sera donc possible que lorsque la nature fournira abondamment et à des prix relativement bas la puissance motrice, eau ou combustible.

Ajoutons que ces conditions seront faciles à réaliser dans la plupart des cas où ces appareils seront employés.

§ IV. Essais faits jusqu'à ce jour.

Deux machines de ce système ont été construites en Angleterre, et l'une d'elles vient d'être importée en France comme spécimen. Depuis la prise du brevet anglais, le 8 janvier 1866, différents essais ont été faits de l'autre côté du détroit. Parmi les procès-verbaux et certificats dont ils ont été l'occasion, je ne citerai que les suivants qui m'ont paru plus nets et plus recommandables.

Dans l'un d'eux, l'ingénieur Sir Ch. Fox approuve le principe de la machine, en ce qu'elle supprime l'emploi de la poudre, n'a jamais besoin d'être retirée en arrière, fait elle-même son chemin net et enlève ses débris. Il constate sa grande puissance et en conseille l'emploi pour le percement des tunnels de plus d'un mille de longueur. Un autre procès-verbal signé par l'ingénieur-mécanicien H. Charlton, chargé des essais de la machine, constate qu'elle a avancé de (20 pieds) $6^m,10$ en 30 heures, soit $0^m,20$ par heure, dans une carrière de grès dur. Ce résultat, d'un essai prolongé, est très-remarquable. Un troisième document signé par deux des hommes d'Angleterre les plus autorisés en pareille matière, MM. Hawkshaw et Th. Brassey, constate qu'en leur présence, à la carrière de Gateschead, dans du grès dur (*Sand-stone rock*), la machine a avancé de 1/2 pied en 30 minutes, soit $0^m,305$ par heure. Ces messieurs ajoutent que, pratiquement, il conviendrait de ne compter que sur la moitié de ce rendement, soit donc $0^m,15$ par heure. Enfin ils conseillent l'emploi de l'air comprimé.

Tous ces essais ont été faits avec un trépan dont la disposition, abandonnée pour celle représentée planche II, fig. 4, consistait en un centre d'où rayonnaient quatorze bras armés de dents taillées en forme de coins.

S'appuyant sur leurs résultats et tenant compte de l'amélioration qu'ils ne pourront manquer de recevoir de l'action mieux entendue de la nouvelle disposition adoptée pour cet organe, la Compagnie anglaise, qui s'est formée pour l'exploitation du brevet du capitaine Penrice, sous la raison sociale : *Patent tunneling and mining Machine Company limited*, croit pouvoir garantir, pour le modèle de 5 pieds, un avancement moyen, en 24 heures, de $3^m,75$ dans le granit et de $5^m,50$ dans le grès dur.

Ces chiffres, s'ils étaient obtenus couramment, seraient très-favorables à la nouvelle invention.

La machine du grand modèle, importée en France tout récemment, a été montée et installée dans les ateliers de MM. J.-F. Cail et Cie, devant un massif de maçonnerie en moellons revêtu de pierres de taille, et les 11 et 12 février, il a été procédé, en présence de M. Flachat et de divers ingénieurs, à des essais ayant seulement pour but de démontrer le mode d'action de la machine et de constater qu'elle pouvait être mise en ex-

ploitation. Le peu de consistance du massif et la difficulté d'en établir un assez solide pour résister à l'intensité de l'action dans toute sa plénitude ont empêché de poursuivre ces essais. Ils vont être repris, dans une des carrières de Vaugirard, d'une manière plus sérieuse et plus pratique.

§ V. Considérations générales sur l'emploi de la machine sur son mode d'action et ses conditions de marche.

Nous pensons qu'en général on ne doit recourir à l'emploi d'un perforateur de cette nature que pour le percement de galeries de quelque importance dans des roches assez dures pour motiver l'intervention de la poudre. Dans les roches assez tendres pour être exploitées par le pic ou les outils tranchants, il y aura avantage à les traiter à la main, à moins cependant que les conditions d'exploitation ne se prêtent à l'application de machines semblables à celles imaginées par MM. Carrett et Marshall et par MM. Jones et Lewick, pour le havage de la houille. La machine qui nous occupe me paraît donc spécialement destinée à l'ouverture de grandes percées à travers les roches dures. La nécessité d'y appliquer l'air comprimé comme moteur, dès qu'il s'agira de traversées un peu longues, caractérise encore son emploi, car ce n'est qu'au pied de chaînes de montagnes élevées ou près des grandes exploitations houillères qu'on pourra réaliser économiquement la force motrice que demande l'alimentation de ce puissant outil.

Nous nous abstiendrons de toute appréciation sur les dépenses qui résulteraient de son installation, ainsi que sur le prix auquel ressortirait la percée de 1 mètre courant de galerie dans telle ou telle roche. Il faudrait, pour en fixer les bases, avoir des éléments qui nous manquent et que l'expérience pourra seule donner. Nous ferons seulement remarquer que le prix de revient de 1 mètre courant de galerie est, il est vrai, le rapport de deux facteurs proportionnels, l'un au capital engagé et l'autre à la vitesse d'avancement; mais que la meilleure machine ne sera pas celle pour laquelle ce rapport sera le plus faible. Ce prix, en effet, perd de son importance, en présence des intérêts considérables qui s'attachent à l'achèvement rapide des grands travaux qui doivent permettre, soit la continuité de voies de communication rapide interrompues entre deux parties d'un même pays ou entre deux pays voisins, soit l'exploitation de mines importantes.

La vitesse d'avancement domine alors toutes les autres conditions, et c'est la première qualité à demander à un perforateur. A ce point de vue, celui que propose M. Penrice présente des garanties d'une nature spéciale sur lesquelles je crois devoir appeler plus particulièrement l'attention de la Société.

Mode d'action sur la roche. — L'action d'un outil sur une roche dépend à la fois de la forme et du mode d'attaque de cet outil, ainsi que de l'intensité et de la fréquence des coups.

1° *Forme et mode d'attaque de l'outil.* — La dernière forme de trépan qui a été décrite et qui est représentée planche II, fig. 4, présente une série de lames aiguisées en coins plus ou moins aigus, disposées concentriquement à intervalles rapprochés et étagées en gradins qui vont en retrait du centre à la circonférence. Cette forme de l'outil à coin tranchant est une des particularités essentielles de l'appareil. On sait en effet que les roches dures se traitent à la main avec des outils de cette forme : ciseaux, poinçons, coins, épinçoirs et bouchardes, et que le secret de l'ouvrier, qu'il veuille équarrir, tailler ou dresser les surfaces, consiste à déterminer des éclats, suivant la direction et dans la mesure qui lui sont utiles. C'est ainsi qu'en appliquant avec le ciseau ou l'épinçoir des coups secs et fréquents dans le même sillon, il parvient à étonner la roche et à produire l'éclat qui doit régulariser le parement qu'il veut obtenir. S'il veut dresser ce parement, il demande à la boucharde une action semblable, mais plus limitée.

Cette tendance à se fendre et à éclater, variable suivant la nature des roches, diminue en général avec leur dureté ; moins grande dans les roches calcaires que dans les roches siliceuses, elle devient à peu près nulle dans les pierres tendres argileuses. Il n'est donc pas douteux que, pour tirer le meilleur parti de cette propriété, chaque nature de roche exigerait un outil d'un angle approprié.

Mais cette condition ne suffit pas, et l'outil le mieux approprié, appliqué au centre d'une masse étendue, ne pourra que broyer la matière en creusant un trou ; c'est le cas du fleuret. La seconde condition est de proportionner l'étendue de l'éclat à l'action dont on dispose sur l'outil, ainsi qu'à la résistance dont cet outil est lui-même susceptible ; ce qui suppose d'abord que l'attaque de l'outil a lieu près d'une arête du bloc, de manière à ce que rien ne s'oppose au départ de l'éclat du côté opposé à la face de l'outil, et ensuite que l'intervalle qui sépare le point d'application de l'outil de cette arête, intervalle qui mesure la puissance de l'éclat provoqué et la résistance à vaincre, soit déterminé en raison de la nature de la roche et de l'action dont on dispose. De là la nécessité d'étager l'attaque des ciseaux en gradins, comme l'indique le détail de la figure 4, planche II, qui reproduit à mi-grandeur quelques dents d'un trépan. La largeur d'un gradin est de 38 $^m/_m$; son épaisseur, ou la hauteur du côté mis à jour par l'action du ciseau précédent, est de 6 $^m/_m$, et le résultat qu'on se propose est de déterminer, au moyen du ciseau *c*, l'éclat *abcd*.

Il est évident que l'expérience seule pourra déterminer quel sera l'étagement le plus avantageux pour chaque nature principale de roche. L'inventeur estime que celui indiqué conviendrait à du granit. C'est encore

l'expérience qui décidera s'il n'y aura pas intérêt, tant au point de vue de la fabrication et de l'entretien qu'à celui du travail, à diviser en segments d'une longueur restreinte l'arc tranchant qui, dans la disposition actuelle, occupe tout le développement correspondant à un secteur du trépan, et dans cette hypothèse, si, au lieu de faire varier l'étagement général suivant les degrés voisins de dureté de roches semblables, il ne sera pas préférable de déplacer seulement, de distance en distance, quelques-uns de ces ciseaux, de manière à en reporter le tranchant au milieu de l'intervalle qui sépare deux rangées successives. Quoi qu'il en soit, on comprend combien il est utile, pour obtenir la meilleure utilisation de la puissance motrice, c'est-à-dire les plus grands éclats avec la moindre pénétration des ciseaux, de frapper toujours exactement dans le même sillon; car c'est cette action, répétée sur une même ligne, qui détermine la fissure, et tout coup dévié est perdu.

La conséquence de ce mode d'attaque apparaît de suite : c'est que, si l'éclat se produit après une pénétration du ciseau de 2 $^{m}/_{m}$, par exemple, le sillon n'aura que l'épaisseur du ciseau en ce point, soit 1 $^{m}/_{m}$, et la quantité de matière broyée ne sera que 1/38e du volume extrait. A ce point de vue, le travail total serait réduit à celui qu'exigerait la perforation d'un trou de mine de 0^{m}.245 de diamètre. Mais il est évident qu'une partie de la puissance vive est absorbée par le travail moléculaire qui détermine la désagrégation de la roche en éclat.

Nous n'insistons pas sur les chiffres; notre but a été seulement de démontrer le mode d'action qui caractérise ce perforateur, et qui n'a d'antécédent dans aucune des machines essayées jusqu'à ce jour. En effet le fleuret broie, la tarière coupe, la bague sertie en diamant rode; ici le ciseau, agissant dans les conditions ordinaires du travail à la main, et mettant à profit la seule propriété des roches dures qui les rende exploitables, n'entaille la masse que dans la mesure strictement nécessaire pour en déterminer la désagrégation par éclats.

2° *Intensité des coups.* — L'intensité du coup frappé par une masse animée d'une certaine vitesse et sollicitée par une force constante dépend de deux éléments : la puissance vive correspondant à la masse et à la vitesse, et l'impulsion due à la force. Comparons, sous ce rapport, l'action de la machine avec celle du ciseau, dans les mains du tailleur de granit.

Ce ciseau présente un tranchant de 30 $^{m}/_{m}$ de longueur; il est frappé par une masse du poids de 2 kilogrammes environ, dont l'ouvrier applique des coups rapprochés et d'une intensité proportionnée à l'effet qu'il se propose. Mais dans les conditions d'un travail normal, le nombre des coups varie de 100 à 120 par 1′, et leur levée est de 0^{m}.35. La vitesse moyenne du mouvement imprimé à la masse est donc au plus de 0^{m}.70 par 1″. La masse correspondant au poids du marteau étant 0.204, on a pour la puissance vive développée dans le choc 0^{km}.05. Quant à la force

que l'ouvrier peut imprimer à la masse, comme pression ou impulsion venant s'ajouter à l'effet précédent, elle dépend d'une action musculaire qu'il est difficile d'apprécier. Elle doit, en tout cas, être faible, et il est probable qu'elle a peu d'influence sur le résultat final.

Or, si l'on considère que, dans la machine en question, le développement des lames est de 32 mètres, et que cette longueur équivaut à celle résultant de l'addition de 1066 ciseaux ordinaires, on voit que la part de puissance vive afférente à chacun d'eux serait de :

$$\frac{53^{km}.8}{1066} = 0.0504,$$

c'est-à-dire celle trouvée ci-dessus pour le ciseau à main. La part d'impulsion résultant pour chaque ciseau de l'action de la vapeur sur le piston serait de :

$$\frac{8468^{k}}{1066} = 7^{k}.9.$$

Un rapprochement semblable, fait avec quelques-uns des perforateurs pour trous de mines cités au début de cette note, donnerait les résultats approximatifs consignés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des PERFORATEURS.	IMPULSION TOTALE.	POIDS approximatif du piston.	VITESSE moyenne du piston par seconde.	DÉVELOPPEMENT du taillant.	PUISSANCE vive rapportée à un taillant de 0.03 de longueur.	IMPULSION rapportée à un taillant de 0.03 de longueur.
1	2	3	4	5	6	7
	k.	k.	m.	m.	km.	k.
Système Haupt......	250	14	1.00	0.05	0.43	150.0
— Bergstroëm..	75	7	1.15	0.03	0.47	75.0
— Sommeiller .	95	10	0.65	0.05	0.13	57.0
— Penrice....	8468	2500	0.65	32.00	0.05	7.9

Les poids indiqués pour les pistons percusseurs résultent d'estimation, ils sont plutôt inférieurs que supérieurs aux poids réels; le développement porté pour le taillant correspond à un foret de $0^{m}.02$ pour le perforateur Bergstroëm, et de $0^{m}.04$ pour les deux autres; pour les quatre appareils, la vitesse considérée répond à une marche à demi-course.

Les résultats portés aux colonnes 6 et 7 sont favorables à la machine qui nous occupe, en ce qu'ils démontrent la faiblesse du travail demandé aux ciseaux, ce qui est la meilleure garantie de leur durée en service.

Il n'est pas douteux en effet qu'il est dangereux de demander mécaniquement à un outil un travail plus grand que celui qu'il fournit dans son

emploi à la main ; car c'est l'expérience de tous les jours et de tous les temps qui a consacré les conditions de ce dernier emploi. L'exagération de la puissance vive, imprimée au fleuret dans les perforateurs essayés jusqu'à ce jour, rend l'entretien de cet outil pénible et coûteux ; en outre, il ne profite pas, autant qu'on pourrait le croire, à l'utilisation de la force motrice, car une grande partie est absorbée par les vibrations et flexions de pièces et de tiges trop faibles pour la transmettre sur la roche. C'est à cet éparpillement de l'action qu'il faut attribuer toutes les inégalités de diamètre et autres accidents qu'on remarque dans les trous de mines percés par ces procédés. Nous pensons que, pour la meilleure utilisation du travail transmis au moyen de chocs sur un outil, c'est moins en augmentant la vitesse du percusseur que sa masse par rapport à celle du corps sur lequel on agit, qu'il faut arriver à réaliser la puissance vive dont on a besoin, et cette puissance ne doit, dans aucun cas, excéder le travail que peut supporter l'outil.

3° *Fréquence des coups.* — La nécessité de rendre le choc plein, en augmentant la masse et diminuant la vitesse, conduit à l'emploi des courses faibles et des coups fréquents.

Cette fréquence des coups me paraît du reste, dans l'espèce, une condition éminemment favorable :

Le travail moléculaire qui aboutit à la désagrégation d'une roche demande, pour se produire, un certain temps, et cette désagrégation est le résultat d'une série de vibrations contraires que la multiplicité des chocs réussit à entretenir.

La machine nouvelle bat 400 coups par 1′ avec une pression de 4 atmosphères, elle en battrait 600 avec une pression de 5 atmosphères. Cette fréquence de coups peut, dans une certaine mesure, servir à expliquer l'avancement obtenu déjà ou promis ; si on suppose en effet que chaque coup n'amène qu'une pénétration des ciseaux de 1/50e de millimètre, ce qui assurément est bien peu de chose, on arrive, avec une vitesse de 400 coups et en tenant compte de ce que les lames n'occupent que les 2/3 de la circonférence, à un avancement par heure de 0m.32, et par 24 heures de 7m.68.

FLEXIBILITÉ D'ALLURE DANS LA MARCHE. — Cette flexibilité d'allure tient à la variation possible des trois éléments de son action. La course peut varier de 0 à 10 centimètres, la vitesse de 200 à 600 coups par 1′, et l'impulsion, outre qu'elle dépend de la pression, peut, pour un même timbre, varier dans certaines limites, suivant la levée du clapet d'admission. On peut donc appliquer aux roches dures des coups très-courts, très-rapides, et dont l'intensité n'aura pour limite que la résistance des ciseaux, aux roches moins dures des coups plus forts, plus allongés et moins fréquents.

Continuité du travail. — La seule interruption dans le travail sera le remplacement des ciseaux émoussés par des ciseaux frais. Ce changement, d'après l'inventeur, ne demandera pas plus de deux heures. Pour l'effectuer, le mécanicien fait rétrograder la machine de quelques décimètres; deux ouvriers, passant en avant du trépan par les évidements qu'il présente, enlèvent les anciens ciseaux et placent les nouveaux, pendant qu'à l'arrière deux autres ouvriers serrent les écrous et les freins.

Solidité. — Absence de vibrations. — La construction en général solide, ramassée, lourde même de cet appareil, et en particulier les dimensions, la forme, le poids et la nature du cylindre percusseur, ainsi que son mode de travail, me paraissent devoir supprimer en partie les inconvénients des vibrations, éloigner les causes de rupture dans les organes et en rendre l'usage durable.

Tels sont les dispositions et caractères principaux de ce nouveau perforateur.

Quel que soit l'avenir qui lui est réservé, l'intérêt considérable qui s'attache à l'exécution et à l'achèvement des projets mis en avant pour la traversée des chaînes de montagnes élevées par des voies ferrées, sans exagérer les conditions du profit, et par suite les charges de l'exploitation, se reporte sur les procédés qui ont pour but de rendre possibles ou de hâter ces résultats, et c'est à ce titre qu'il m'a paru utile de faire connaître à la Société celui que propose le capitaine Penrice.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

ANATOLE DE PLANHOL

PAR M. RICHARD.

La vie d'Anatole de Planhol, dont nous déplorons la perte prématurée, peut être citée en exemple à nos jeunes confrères. Son caractère, comme homme privé, et son mérite comme Ingénieur, font de notre regretté collègue un de ces modèles dont on est heureux de faire le portrait, et qu'on doit être encore plus heureux d'imiter.

La vie de de Planhol fut toute de travail, d'abnégation et de dévouement.

Entré dans ce monde par la voie de la fortune et de la naissance, de Planhol fut d'abord militaire; — sa position et ses goûts le portaient tout naturellement vers le métier des armes. — Il y espérait une carrière brillante, lorsque en 1830 éclata la Révolution. — De Planhol brisa ses plus chères espérances pour rester fidèle à ses convictions, il donna sa démission.

Il s'occupa d'abord d'études archéologiques, et fit de très-curieux travaux sur la célèbre abbaye de la Chaise-Dieu, en Auvergne, à la suite desquels il fut élu membre de l'Académie du Puy.

A cette époque, de cruels revers de fortune vinrent l'assaillir; de Planhol ne fut pas accablé, il supporta vaillamment le choc, et il n'hésita pas à demander des moyens d'existence au travail, en utilisant le savoir et les talents acquis dans un but tout différent. Il se voua aux plus modestes et plus durs labeurs du génie civil, et nous le trouvons en 1839 au canal du Berry, où parti des degrés inférieurs de la hiérarchie il remplissait les fonctions de Conducteur.

En 1840, il fut attaché aux études du chemin de fer de Paris à Rouen, sous les ordres de M. l'Ingénieur anglais Joseph Locke, et il contribua à l'exécution de cette ligne en qualité d'assistant. Ses qualités sérieuses, ses talents, non moins que son caractère, l'ayant fait remarquer de l'Ingénieur en chef Locke, de Planhol devint un de ses élèves favoris, et il concourut successivement, comme Ingénieur, à la construction des lignes

de Rouen au Havre, de Rouen à Dieppe et de Mantes à Caen et Cherbourg. Partout il laissa les meilleurs souvenirs de son passage à la Compagnie de l'Ouest.

Pendant les travaux de cette ligne difficile de Cherbourg, de Planhol fit preuve d'un incontestable mérite. Il y construisit avec un grand succès le tunnel de Crèvecœur (entre Lisieux et Mesnil-Mauger), long de près de 3 kilomètres, qui, tout entier placé dans la formation des sables verts, offrit de grandes difficultés.

Il eut à la même époque l'occasion de montrer le dévouement et l'énergie dont son cœur était animé, en risquant plusieurs fois sa vie dans le sauvetage du puisatier Moulinier enseveli sous les terres d'un éboulement très-dangereux.

Tant de travaux et une si belle conduite, pendant vingt ans consécutifs, devaient avoir leur récompense : de Planhol fut fait chevalier de la Légion d'honneur par l'Empereur, lors de son voyage à Cherbourg pour l'inauguration du Chemin de fer et du Port. En 1860, de Planhol fut nommé Ingénieur principal de la ligne du Simplon, dont il dirigea la construction jusqu'en 1865, et où il a attaché son nom à des études et à des travaux importants.

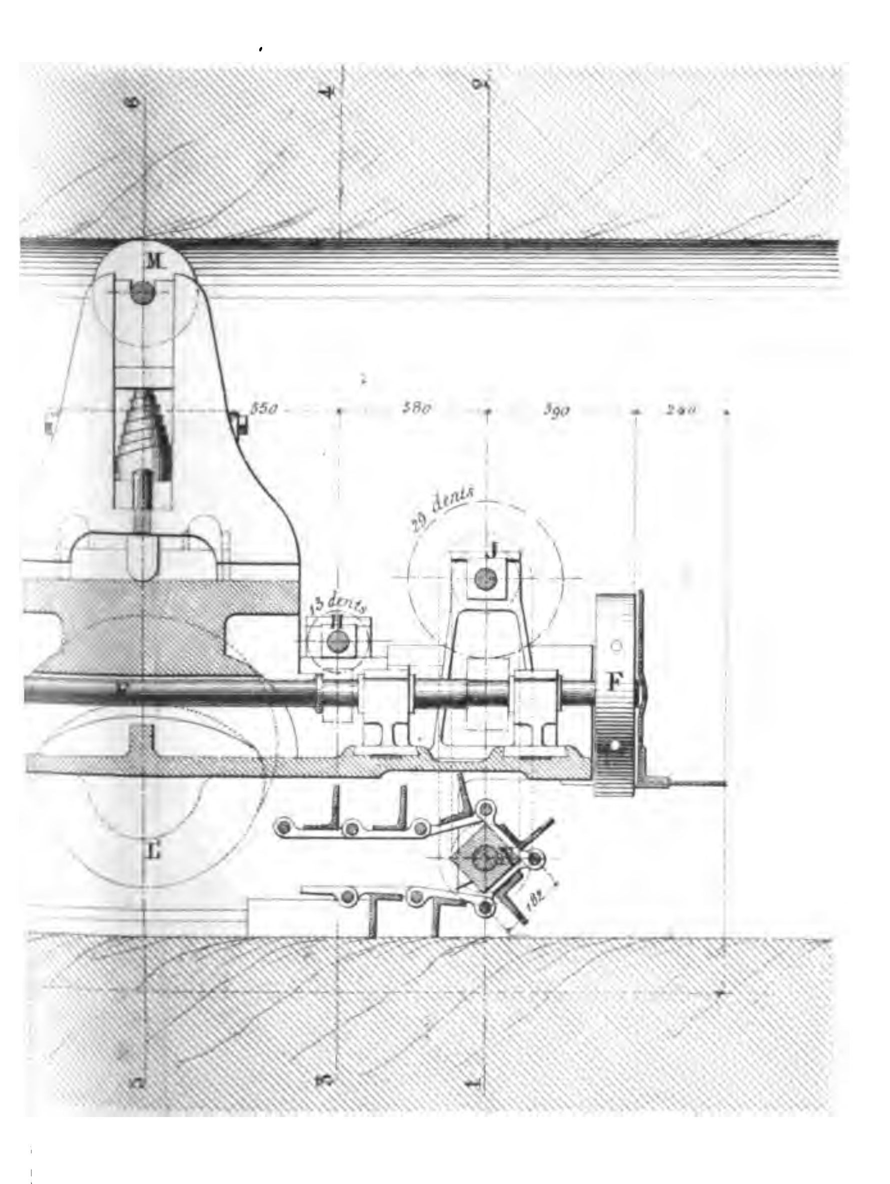
De Planhol était membre de la Société des Ingénieurs civils depuis 1848; il n'a pu prende part à nos travaux, parce que ses fonctions l'ont toujours retenu loin de Paris; mais il était avec nous de tout cœur.

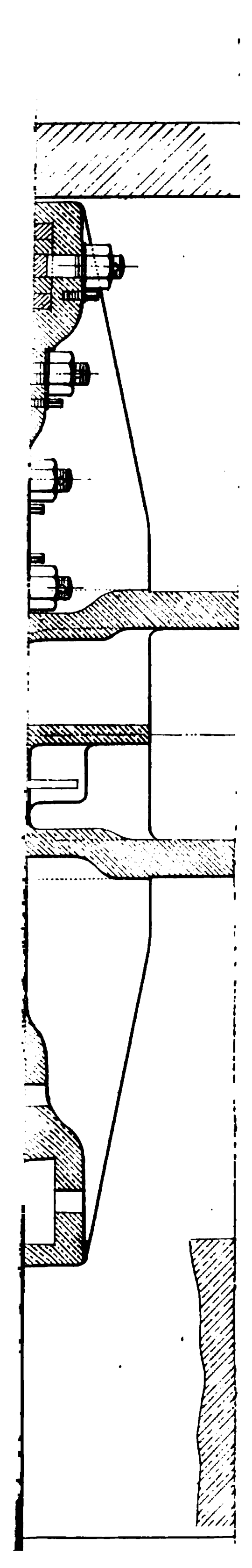
Retiré de la vie militante depuis 1866, de Planhol fut enlevé subitement, jeune encore, à la tendresse de sa famille et à l'affection de tous ceux qui l'ont connu. — Esprit conciliant, caractère droit et ferme, intelligence cultivée, manières distinguées, notre regretté collègue réunissait en lui toutes les qualités éminentes qui honorent les hommes et les Ingénieurs dont le souvenir reste cher à la Société des Ingénieurs civils.

Paris. — Typ. de P.-A. Bourdier, Capiomont fils et Cie, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Pl. 1.

. axe





MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1868)

N° 2

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Ensilage des blés*, par MM. Coignet et Rouyer (séances du 3 avril et 1er mai, pages 239 et 263).

2° *Calculs des moments de flexion maxima dans les ponts droits*, par MM. Albaret, Dallot, De Dion et Molinos (séances des 3 avril et 1er mai, pages 240, 263 et 264).

3° *Concours du prix fondé par M. Perdonnet, remise de la médaille* (séance du 17 avril, page 256).

4° *Chemins de fer d'intérêt local* (discussion sur les) (séances des 17 avril, 1er et 15 mai, 5 et 19 juin, pages 256, 262, 276, 297 et 306).

5° *Doublage en zinc des navires*, par M. Lissignol (séance du 1er mai, page 268).

6° *Isthme de Suez, résultats de l'exploitation pour l'année* 1867 *et le premier trimestre* 1868 (séance du 5 juin, page 294).

7° *Navigation aérienne*, par M. Pichault (séance du 5 juin, page 294).

8° *Machine à perforer les roches du capitaine Penrice*, par M. Fellot (séances des 5 et 19 juin, pages 295 et 302).

9° *Situation financière de la Société* (séance du 19 juin, page 300).

10° *Chaudière à vapeur système Barret*, par M. Maldant (séance du 19 juin, page 303).

11° Médaille en or décernée à M. Achille Lecler, pour son Mémoire sur l'endiguement et la mise en culture des polders de la baie de Bourgneuf (séance du 19 juin, page 301).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° Un exemplaire des rapports de MM. Eugène Flachat, de Goldschmidt, Couche, Henri Mathieu et Jules Morandière, de la classe 63, sur le *Matériel des chemins de fer à l'Exposition universelle de* 1867.

2° De M. Ckiandi, membre de la Société, au nom de M. Barret, ingénieur des Docks et entrepôts de Marseille, un exemplaire d'un *Mémoire sur un nouveau système de chaudière tubulaire à courant d'eau continu.*

3° De M. Petitgand, membre de la Société, un exemplaire de ses *Observations générales sur l'état du travail des mines à l'Exposition universelle de* 1868.

4° De M. Albaret, membre de la Société, une note sur le *Calcul des moments de flexion maxima dans les ponts droits*, en réponse aux observations présentées par MM. De Dion, Molinos et Dallot, dans la séance du 3 avril.

5° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire d'une note *sur les chemins de fer économiques.*

6° De M. Jullien, membre de la Société, des exemplaires de son mémoire sur ses *Recherches sur l'aciération.*

7° De M. Jules Morandière, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur les signaux optiques et acoustiques à l'Exposition universelle.*

8° De M. Morandière, ingénieur en chef des ponts et chaussées, des *Documents statistiques sur le chemin de fer de Chateaulin à Landernau.*

9° De M. Gottschalk, membre de la Société, une *Note sur le service de traction des chemins de fer du sud de l'Autriche et en particulier sur l'exploitation du Semmering et du Brenner en* 1867.

10° De M. Garnier, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur la *Géologie et les ressources minérales de la Nouvelle-Calédonie.*

11° De M. Fellot, membre de la Société, une note sur *Une machine à perforer les roches, du capitaine Penrice.*

12° De M. Simonin, membre de la Société, un exemplaire de sa *Notice sur les produits souterrains à l'Exposition de* 1867.

13° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

14° De la *Revue d'architecture*, les numéros 1 et 2 de l'année 1868.

15° De la revue *les Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

16° Du journal *The Engineer*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

17° Du bulletin de la *Société d'encouragement*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

18° Du bulletin de la *Société de géographie*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

19° Du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture*, les numéros du premier trimestre 1868.

20° Du journal *l'Invention*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

21° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

22° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

23° Du bulletin de la *Société vaudoise des sciences naturelles*, le numéro de mars 1868.

24° Du bulletin de la *Commission impériale et royale de statistiques de Vienne*, les numéros de 1863 à 1866.

25° De la *Revue contemporaine*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

26° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

27° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

28° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

29° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

30° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

31° Du journal *le Cosmos*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

32° Des *Annales des mines*, les numéros du deuxième semestre 1867.

33° Du *Génie industriel*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

34° Du bulletin de la *Société des Arts et Métiers de Vienne*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

35° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

36° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du premier trimestre 1868.

37° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros du premier trimestre 1868.

38° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

39° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

40° Du *Propagateur des travaux en fer*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

41° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

42° De la *Propagation industrielle*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

43° Du journal *Engineering*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

44° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de mars et avril 1868.

45° Du *Comité des forges de France*, les numéros 37, 38 et 39 du bulletin.

46° Du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de mars, avril et mai 1868.

47° Du bulletin de l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du premier trimestre de 1868.

48° Du *Bulletin de la Société industrielle de Reims*, le numéro de décembre 1867.

49° Des *Publications administratives*, la 2e livraison de 1868.

50° De la *Revue horticole*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

51° De la *Gazette du Village*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

52° Du bulletin de la *Revue périodique* de la *Société des ingénieurs autrichiens*, les numéros du premier trimestre 1868.

53° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, le numéro 2 de 1868.

54° Du bulletin de la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, les numéros des premier, deuxième et troisième trimestres 1867.

55° De la Société industrielle de Reims, un exemplaire d'un *Rapport sur l'Exposition de* 1867, par M. Henri Gaurentes.

Les Membres admis pendant le deuxième trimestre sont :

Au mois d'avril :

Comme Membres-Sociétaires :

MM. André, présenté par MM. Callon, de Mastaing et Thomas.
Bouchotte, présenté par MM. Laurent, Loustau et Trélat.
Epstein, présenté par MM. Chobrzynski, Love et Poulot.
Hodgson, présenté par MM. Flachat, Love et Manby.
Charpentier, présenté par MM. Callon, Loustau et Orsat.
Néri, présenté par MM. Bandérali, Flachat et Morandière.
Fabre, présenté par MM. Benoît Duportail, Charpentier et Mayer.

Comme Membre-Associé :

M. de Lesseps (Ferdinand), présenté par MM. Flachat, Love et Petiet.

Au mois de mai :

MM. Garnier, présenté par MM. Evrard, Javal et Jordan.
Leloup, présenté par MM. Barberot, Bobin et Love.

MM. Prou, présenté par MM. Mauguin, Morandière (J.) et Morandière (E).
Sergejeff, présenté par MM. Martin, Thomas et West.

Au mois de juin :

MM. Barnoya, présenté par MM. Germon, Marco Martinez et Ximenes.
Dubuc, présenté par MM. Bourgougnon, Callon et Calrow.
Dupuy, présenté par MM. Courras, De Dion et Love.
Grateau, présenté par MM. Hangard, Marcais et Tresca.
Leblond, présenté par MM. Callon, Fellot et Thomas.
Maury, présenté par MM. Carcuac, Dallot et Péligot.
Nougaret, présenté par MM. Garcia, Love et Madelaine.
Quarré d'Aligny, présenté par MM. Geyler, Huet et Loustau.
Sandberg, présenté par MM. Flachat, Love et Manby.
Thomas (Max), présenté par MM. Callon, Laurens et Yvon Villarceau.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIᵉ TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1868

Séance du 3 Avril 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 20 mars est adopté.

M. Ribail fait observer que, dans la dernière séance, M. Courras a dit que les wagons de la ligne d'Orléans ne circulent pas sur celle de l'Ouest : or, depuis deux ans, il a circulé 40,000 wagons de la ligne d'Orléans ayant parcouru sur la ligne de l'Ouest 8 millions de kilomètres.

M. Nordling fait observer que M. Courras a plutôt commis un anachronisme qu'une erreur ; la circulation des séries de wagons dont il s'agit étant devenue possible depuis les modifications apportées aux voies du pont d'Asnières ou à celles de certaines gares.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. François Coignet qui, trouvant la question de l'ensilage des blés suffisamment élucidée, en ce qui concerne les bétons agglomérés, adresse à la Société les conclusions suivantes :

1° La conservation des grains est la base de tout moyen propre à résoudre le double problème des disettes, d'empêcher l'avilissement de prix en temps d'abondance et la cherté en temps de pénurie ;

2° La condition d'hygrométrie des blés jouant un rôle décisif dans leur conservation, la dessiccation préalable opérée au dedans ou au dehors des silos, est une précaution indispensable, les blés bien desséchés se conserveront même dans les silos imparfaits, tandis que les blés trop humides ne se conserveraient pas même dans des silos parfaits ;

3° Cette dessiccation peut être opérée à très-peu de frais par des appareils à air chaud renversé, que le système ait été pratiqué ou non systématiquement par M. Doyère.

Il faut un kilogramme de coke pour dessécher un hectolitre de blé ;

4° Les bétons agglomérés rendus imperméables par un glacis de ciment de Portland

et des incrustations de silicates alcalins et de biphosphate de chaux établis au-dessous du sol afin d'éviter le contact des eaux souterraines et enfouis dans un remblai entouré d'un mur d'enceinte, donnent le moyen de construire des silos parfaits au prix de *trois francs* par hectolitre de capacité ;

5° Le prix de revient de l'ensilage consistera dans l'intérêt de 3 francs, soit :

A 5 pour 100 l'an..	15 centimes
plus pour combustible et manutention...........................	10 —
Total......	25 centimes

pour la première année ; et 0,15 pour les années suivantes.

M. Coignet termine sa lettre en faisant observer que, dans la discussion qui a eu lieu sur l'ensilage des blés et sur les procédés mis à jour à l'Exposition universelle, il n'a pas été fait mention des travaux de M. Haussmann père qui, en 1854, a pris un brevet pour les silos en tôle et l'emploi des gaz asphyxiants et qui a obtenu à l'Exposition universelle la seule médaille d'or accordée à l'ensilage des grains.

L'exposition de M. Haussmann père était à Billancourt.

M. Albaret a la parole pour répondre aux observations présentées par M. de Dion, dans la séance du 22 novembre dernier.

Dans cette séance, M. de Dion a appelé l'attention de la Société sur les idées émises dans plusieurs mémoires publiés dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, relativement aux calculs des moments de flexion maxima dans les ponts droits.

Ses observations, auxquelles M. Flachat a prêté l'appui de sa haute expérience, étant de nature à laisser une impression tout à fait inexacte sur le but que se sont proposé les auteurs des mémoires dont il s'agit et sur les résultats qu'ils ont obtenus, M. Albaret croit, comme membre de la Société et comme auteur de l'un de ces mémoires, devoir apporter quelques explications.

Comparant, pour le pont d'Asnières, les résultats que l'on obtient en recherchant en chaque point de la poutre la valeur du moment fléchissant due à la distribution la plus défavorable possible de la surcharge aux valeurs indiquées pour ces moments dans l'ouvrage de MM. Molinos et Pronnier, M. Renaudot cite en effet les valeurs suivantes, pour les points d'appui sur les deux piles centrales :

532.000 et 405.000 kilogrammètres,

soit une différence de 32 p. 100.

M. Renaudot, dit M. de Dion, arrive à un pareil résultat, parce qu'il ne tient aucun compte des limites que la destination de l'ouvrage impose aux données du problème.

Il admet, en effet, que la surcharge peut être distribuée d'une manière quelconque sur les travées, tandis que le moment maximum a lieu au milieu d'un travée lorsque le train la couvre sur toute sa longueur, et sur les piles lorsque le train couvre les deux travées adjacentes.

En présence de cette assertion, qu'il croyait assurément fondée, M. Albaret s'explique fort bien que M. Flachat se soit élevé, comme il l'a fait, contre des méthodes conduisant à de pareils résultats. Mais il n'en est rien, et tout en regrettant que M. de Dion n'ait pas serré de plus près cette question, avant de formuler cette appréciation, M. Albaret se voit contraint d'en faire ressortir l'inexactitude.

Si l'on calcule en effet le moment de flexion sur les piles n° 2 des ponts de cinq travées d'ouvertures égales dans l'hypothèse d'une charge permanente uniformément

répartie sur toutes les travées, à raison de p kilogrammes par mètre courant, et d'une surcharge d'intensité p', couvrant les travées nos 2 et 3, on trouve :

$$X = \frac{a^2}{4 \times 209} (66p + 89p').$$

La distribution la plus défavorable possible de la surcharge, celle couvrant les travées nos 2, 3 et 5 donne :

$$X' = \frac{a^2}{4 \times 209} (66p + 93p').$$

Le rapport de ces deux valeurs est :

$$\frac{66p + 93p'}{66p + 89p'},$$

et dans le cas du pont d'Asnières, pour lequel MM. Molinos et Pronnier donnent à p et p' les valeurs 1200 et 4000 kilogrammes par mètre courant, il devient 1.037, et représente par suite une différence relative de 3.7 p. 100 seulement.

Telle est réellement, dans ce cas particulier, la différence que donnent les deux procédés de calcul, et réduite à cette faible proportion, on conviendra tout d'abord assurément qu'elle diminue d'autant la valeur des critiques dont la méthode en discussion a été l'objet.

A quoi tient donc la différence de 32 p. 100 signalée?

Dans l'exposé des calculs relatifs au pont d'Asnières, MM. Molinos et Pronnier disent à la page 273 de leur ouvrage :

« Les hypothèses à faire pour déterminer la courbe *approximative* des moments maximum sont au nombre de quatre :

« 1° Charge uniformément répartie sur tout le pont;

« 2° Première travée seule chargée;

« 3° Deuxième travée seule chargée;

« 4° Troisième travée seule chargée.

« Nous n'avons pas considéré le cas de deux travées consécutives seules chargées. Ces deux hypothèses donnent pour les moments sur les piles des résultats peu différents de ceux qui sont fournis par les hypothèses précédentes. »

Or les formules, pour le cas des charges uniformément réparties sur toutes les travées, donnent pour la première pile :

$$X_1 = \frac{a^2}{4 \times 209} (88p + 88p').$$

Pour les deux premières travées seules surchargées, on a :

$$X_1' = \frac{a^2}{4 \times 209} (88p + 97p').$$

Le rapport de ces deux valeurs est :

$$\frac{88p + 97p'}{88p + 88p'},$$

et en atribuant à p et p' les valeurs correspondantes au pont d'Asnières, on obtient 1.079, soit une différence de 7.90 p. 100.

Si l'on fait la même recherche pour la pile n°2, on trouve, pour la valeur du moment due aux charges p et p' uniformément réparties sur tout le pont, et pour celle

due à la charge permanente et à la surcharge p' répartie seulement sur les travées n°s 2 et 3 :

$$X_2 = \frac{a^2}{4 \times 209}(66p + 66p'),$$

et $$X_2' = \frac{a^2}{4 \times 209}(66p + 89p').$$

Leur rapport $\frac{66p + 89p'}{66p + 66p'}$ devient, pour le même ouvrage, 1.268, et représente par suite une différence relative de 26.8 p. 100.

La différence de 32 pour 100, signalée par M. Renaudot, tient donc pour 26.8 p. 100 à ce que le calcul du moment de flexion sur la pile n° 2 a été fait en considérant la surcharge comme répartie sur toutes les travées, au lieu de la supposer distribuée sur les deux travées adjacentes.

Ce premier point établi, M. Albaret indique quelles sont les différences relatives des deux procédés de calcul.

Pour les ponts des deux travées, il n'y a aucune différence, les hypothèses sur la distribution de la surcharge restant les mêmes.

Pour les ponts de trois travées, il n'y a non plus aucune différence pour les points d'appui et pour le milieu de la travée centrale; les hypothèses ne diffèrent que pour les travées de rive.

Lorsque les trois travées ont la même ouverture, le rapport des deux moments fléchissants maximum, correspondant l'un à la surcharge couvrant les travées n°s 1 et 3, l'autre, à la surcharge placée sur la première travée, a pour expression :

$$\left[\frac{24p + 27p'}{24p + 26p'}\right]^2,$$

et la valeur de $\frac{p'}{p}$ étant généralement comprise entre 1 et 2, elle varie entre 1.04 et 1.053, et représente par suite une différence relative comprise entre 4 et 5.30 p. 100.

Lorsque les travées de rive ont une ouverture plus faible que celle de la travée centrale, comme au pont de Langon, par exemple, où le rapport des ouvertures est de 0.8599, et celui des charges $\frac{4000}{1900}$ ou 2.105, cette différence est de 5.30 p. 100.

Pour les ponts de quatre travées de même ouverture, il n'y a aucune différence pour la deuxième pile, et pour les valeurs du rapport $\frac{p'}{p}$, comprises entre 1 et 2, elle varie pour la première pile entre 2 et 2.60 p. 100, entre 3,30 et 4.20 p. 100 pour le milieu de la première travée, et entre 6.5 et 7.70 p. 100 pour celui de la seconde.

Enfin, pour les ponts de cinq travées de même ouverture, la différence est de 3.40 à 4.60 p. 100 pour la première travée, de 5.3 à 6.2 p. 100 pour la seconde, et de 11.10 à 13.80 p. 100 pour la travée centrale. Elle varie entre 1.62 et 2.12 p. 100 pour la première pile, et entre 2.60 et 3.20 p. 100 pour la seconde.

M. Albaret termine là ses comparaisons; car on conçoit que ces différences doivent rester à très peu près dans les mêmes limites pour les ponts d'un plus grand nombre de travées, et elles suffisent évidemment pour établir qu'il n'y a pas, entre les résultats des deux procédés de calcul, une différence telle qu'on puisse accuser avec

raison les ingénieurs qui ont fait les mêmes recherches de vouloir imposer aux travaux de notre pays des conditions inadmissibles.

M. Albaret croit, au contraire, que les hypothèses faites *arbitrairement* laissent toujours à l'esprit quelque incertitude, et bien que, pour sa part, il regarde comme acceptables les résultats que l'on obtient avec celles que l'on fait habituellement, il estime qu'il est préférable de déterminer directement par le calcul quelles sont, pour tous les points de la poutre, les résistances maxima que puissent lui imposer les distributions les plus défavorables possibles de la surcharge.

Il ne reste plus qu'à faire voir que les hypothèses auxquelles on est ainsi conduit n'ont rien d'anormal.

Les épreuves auxquelles les ponts métalliques sont actuellement soumis, avant d'être livrés à la circulation, sont fixées par une décision ministérielle du 26 février 1858.

Elles sont de deux espèces, et ont lieu d'abord par un chargement de poids mort, ensuite au moyen de poids roulant.

Chaque surcharge par poids mort doit rester au moins huit heures sur le pont, et n'en être enlevée que deux heures après que les flèches prises par les poutres ont cessé de croître.

Ces surcharges peuvent donc être supposées réparties d'une manière quelconque sur les travées, sans qu'il soit nécessaire pour cela d'admettre des hypothèses aussi étranges que celles qu'on nous a prêtées et qui consisteraient à faire supporter au pont le passage de trains entièrement composés de locomotives, ayant chacun la longueur d'une travée, indépendants les uns des autres, et *circulant avec tant de précision* qu'ils conservent entre eux une distance précisément égale à la longueur d'une travée.

M. Albaret dit qu'il sait fort bien que les conditions qu'il admet pour la distribution de la surcharge par poids mort ne peuvent être réalisées par des convois en marche; mais il n'en est pas de même pour les effets produits par ces deux sortes d'épreuves. La vitesse des trains accroît en effet la résistance qu'un poids égal à l'état de repos impose aux ouvrages, et l'on sait qu'il arrive souvent, lors des épreuves, que les flèches produites par les poids roulants atteignent celles constatées sous les surcharges par poids mort, bien que l'intensité de ces dernières soit sensiblement supérieure à celle des trains.

M. Albaret croit donc que de même que l'administration supérieure a fixé avec raison un poids supérieur à celui des trains pour les épreuves par poids mort, de même il ne saurait y avoir aucune inconséquence à admettre que ces derniers peuvent être répartis de la manière la plus défavorable possible, alors surtout que les résultats que l'on obtient ainsi n'ont rien d'exagéré.

M. de Dion distingue dans la discussion qui est engagée deux questions : l'une relative à la détermination de la charge à supporter par un ouvrage et des efforts à subir par le métal; l'autre relative au calcul du pont d'Asnières. M. Molinos devant prendre la parole sur la deuxième question, M. de Dion ne traitera que la première.

Les ingénieurs qui les premiers se sont occupés de fixer la surcharge qu'un pont de chemin de fer pourrait avoir à supporter, ont considéré que les wagons pouvant un jour charger la voie autant que les locomotives, il fallait prévoir cette marche pour le développement de l'exploitation future. C'est de là qu'est venue depuis l'habitude de dire que la charge d'une voie se composait d'un train de locomotives,

Les ingénieurs anglais avaient admis le poids d'une tonne par pied, soit environ

3330 kilog. par mètre courant; le contrôle en France avait par analogie fixé la charge d'épreuve à 3,500 kilog.; mais les ponts d'Asnières et de Langon ont été calculés avec une surcharge de 4,000 kilog.

Les trains se présentent au-dessus d'un pont comme sur le reste de la voie, et deux trains peuvent s'y croiser. — On a donc été conduit à faire les calculs dans cette hypothèse. Est-elle *arbitraire*, comme le dit M. Albaret, ou n'est-elle pas, au contraire, la représentation fidèle de ce qui se passe sur toutes les lignes? MM. Renaudot et Albaret prennent des hypothèses qui résultent de formules générales, qui donnent de la symétrie aux calculs et aux conditions d'épreuves. Or les ponts ne sont faits ni pour satisfaire à des formules, ni pour subir des épreuves. Les calculs servent à éclairer un problème et les épreuves à contrôler la construction et à vérifier s'il n'y a pas été commis d'erreurs graves dans les calculs ou dans l'exécution. C'est donc l'hypothèse de M. Albaret qui est arbitraire et même irréalisable, et c'est pour cela que M. de Dion la repousse.

M. Albaret dit dans sa note qu'il y aurait avantage à adopter les chiffres qu'il donne pour tenir compte de ce que la charge en mouvement donne lieu à un effort plus grand qu'une charge fixe; mais la répartition des charges sur des travées supposées alternativement chargées ou déchargées, n'a aucun rapport avec l'effet produit par les charges en mouvement.

M. Albaret conclut en disant qu'*il n'y a aucune inconséquence à admettre que les poids peuvent être répartis de la manière la plus défavorable possible, alors surtout que les résultats que l'on obtient ainsi n'ont rien d'exagéré*; mais, si les calculs venaient révéler des résultats inattendus, c'est alors qu'il faudrait les étudier avec grand soin, car il y aurait lieu d'apprécier dans quelles mesures les hypothèses toutes spéciales qu'il prend pourraient se réaliser.

M. de Dion veut aborder la question sous un autre point de vue qui constatera la profonde divergence qui existe entre ses opinions et celles de MM. Renaudot et Albaret.

Il ne suffit pas de déterminer les moments fléchissants, il faut encore calculer les moments résistants. Il faut que la poutre dans ses différentes sections produise la résistance qu'on lui demande. Il faut que la section soit rigide, que le moment d'inertie soit permanent.

Il faut entretoiser les poutres, les contreventer, empêcher le voilement; c'est une série d'études d'une importance capitale qui sont en dehors des formules en discussion. Une poutre, comme celle du pont d'Asnières, offre une rigidité que n'a pas celle du pont de Langon, et cette dernière est beaucoup plus rigide que celles du pont d'Offenbourg et autres ponts en treillis.

En supposant qu'on charge à outrance, les poutres du pont d'Asnières, elles rompront à un coefficient de 30 à 35 kilog., parce qu'elles sont entretoisées de toutes parts, tandis que dans un pont-treillis, dès que les pressions peuvent amener des déformations permanentes considérables, les poutres se voileront, et les coefficients de rupture peuvent être considérablement diminués. C'est donc la rigidité de toutes les parties d'un ouvrage qui assure sa stabilité bien plus encore qu'une augmentation de 1 et même 2 et 3 kilog. dans le coefficient de résistance.

M. Renaudot est confiné dans une formule, et de là il distribue l'éloge et le blâme, suivant que le pont rentre plus ou moins bien dans les tables; mais c'est, on le voit, ne considérer la question que sous un seul de ses aspects, et négliger des points de vues d'une extrême importance.

Cette disposition à juger d'un ouvrage par une formule et la fixation d'un coefficient de 6 kil. a conduit les constructeurs qui sont obligés de se soumettre aux exigences des ingénieurs du contrôle à adopter des dispositions regrettables.

On voit s'exécuter des ponts en treillis dont les poutres offrent une hauteur hors de proportion avec l'importance des tables horizontales ; toute la construction est faite en vue du coefficient exigé et très-souvent aux dépens de la véritable sécurité. C'est ainsi que M. de Dion considère le pont de Torksey qui travaille à 11 kil. sur une pile, mais qui est parfaitement contreventé dans toutes ses parties, comme infiniment plus sûr que le pont d'Offenbourg, qui ne travaille qu'à 6 kil.

M. Renaudot a dit que ce n'est que depuis dix ans qu'on peut résoudre les problèmes relatifs aux calculs des ponts ; M. de Dion croit la question résolue par les ponts d'Asnières et de Langon. Il cite une note rédigée par lui sur la demande de MM. Clapeyron et Flachat, en 1853, note où l'on trouve trace des préoccupations relatives à la permanence du moment d'inertie et où la théorie du calcul des ponts métalliques se trouve successivement exposée avec l'indication même des importantes lacunes qu'elle présente encore aujourd'hui après quinze années.

Enfin M. de Dion conclut en répétant l'observation par laquelle il a terminé sa réponse dans la séance du 22 novembre dernier, que si on comprend qu'un professeur se laisse aller à examiner le cas le plus général d'une question et à la traiter à un point de vue purement géométrique, on comprend moins comment les ingénieurs peuvent oublier la réalité au point de vouloir imposer aux travaux de notre pays des conditions en dehors de toute probabilité.

M. Molinos relève dans le mémoire dont M. Albaret vient de donner lecture deux critiques, l'une a trait au pont d'Asnières, l'autre tombe sur M. Pronnier et sur lui à propos de leur traité des ponts métalliques. Il se hâte d'abord de mettre le pont d'Asnières hors de cause.

Il est singulier que deux ingénieurs, MM. Renaudot et Albaret, aient à peu près simultanément formulé contre ce grand ouvrage les mêmes accusations, sans se donner la peine d'examiner si les conditions d'exécution du pont sont conformes à leur allégation. Ils prétendent que le pont d'Asnières a été construit en vue de résister sur la deuxième pile à un moment de flexion de 405,000 kilogrammes. Ce fait est absolument erroné, et la seule inspection de l'atlas qui rend le compte le plus exact et le plus minutieux de tous les détails de construction du pont d'Asnières leur aurait montré que le pont a été établi pour résister sur la deuxième pile à un mouvement de flexion de 470,000 environ. C'est certes là une différence importante, puisque ce chiffre ne diffère que de 7 pour 100 du moment de flexion de 505,000 correspondant à la charge de deux travées consécutives.

En formulant une pareille critique sans en avoir vérifié l'exactitude, MM. Albaret et Renaudot se sont donc exposés à un reproche fondé de légèreté.

Pourquoi cette différence de 7 pour 100? Puisque la question a été posée, il faut y répondre avec précision. Le pont d'Asnières a été l'objet d'études trop approfondies, et a été soumis dans toutes ses parties par MM. Flachat et Clapeyron à une critique trop minutieuse, pour qu'il ne soit pas très-facile de rendre un compte satisfaisant de la raison d'être de toutes ses dispositions d'ensemble et de détail.

M. Molinos, continuant ses observations en son nom et au nom de M. Pronnier, s'exprime comme il suit :

« Disons d'abord que ni M. Albaret ni M. Renaudot ne nous ont appris que le maximum des moments de flexion sur une pile est donné par l'hypothèse de la surcharge

répartie sur deux travées consécutives; nous n'avons jamais calculé un pont autrement *et le pont d'Asnières l'a été ainsi*. C'est pour cela que les épaisseurs de tôle sur la deuxième pile correspondent à moment de flexion de 470,000 et non de 405,000. Mais nous n'éprouvons pas un fétichisme étroit pour les formules que nous avons faites; nous apprécions à leur valeur les lacunes de la théorie, et si nous considérons le calcul comme un guide indispensable, nous ne croyons nullement qu'il dispense d'examiner et de discuter les résultats, qui doivent très-souvent être grandement modifiés par des considérations qu'on n'a pas introduites dans les calculs.

Or, le pont d'Asnières est un pont à quatre voies. Les poutres de rive avec leur double lame verticale sont tellement fortes qu'il n'a pas été possible, en conservant les épaisseurs de tôle minimum imposées par les exigences d'une bonne construction, de les équilibrer à leurs moments de flexion. Les cinq poutres du pont d'Asnières sont réunies par des croix de Saint-André qui établissent entre elles une intime solidarité; il en résulte qu'il est impossible de fléchir une poutre de ce pont sans fléchir toutes les autres. Voilà pourquoi MM. Flachat et Clapeyron n'ont pas voulu ajouter sur la deuxième pile une tôle supplémentaire qui aurait porté le moment de résistance du pont à 530 ou 540,000, et ils ont jugé que cette différence de 7 pour 100 était suffisamment compensée par les conditions que nous venons d'exposer.

L'expérience a-t-elle confirmé la justesse de cette appréciation? Un seul fait suffit à le démontrer victorieusement. La flèche calculée d'une poutre du pont d'Asnières est de 9 millimètres; lors des essais, aucun diagramme n'a accusé une flèche supérieure à 3 millimètres. Voilà donc un pont qui, eu égard à l'excès de résistance de ses poutres de rive, et à la solidarité de toutes ses parties, n'a jamais accusé que les 2/3 des flèches calculées.

L'exemple que MM. Albaret et Renaudot ont choisi est bien malheureux. Les tables qu'ils préconisent rendent-elles compte d'influences de la nature de celles que nous venons de signaler? N'est-ce pas une preuve entre mille qu'on ne fait pas une œuvre sérieusement étudiée avec des *tables?*

On peut, autour de toutes les questions théoriques, répandre des flots de formules. Ce genre d'exercices de calcul est quelquefois intéressant et même instructif pour les ingénieurs qui ont des loisirs à y consacrer. Mais il ne faut pas se figurer pour cela qu'on a fait avancer la science, et c'est une erreur dans laquelle on tombe trop volontiers.

La méthode qui est aujourd'hui généralement employée pour le calcul des poutres continues est des plus simples. Elle permet des représentations graphiques qui exposent aux yeux d'une manière saisissante tous les résultats utiles à connaître. Chercher à remplacer le tracé très-facile des paraboles, par de prétendues simplifications, lorsqu'il n'y a que deux paraboles à construire pour un pont quelconque, c'est tendre à faire croire que, faute d'avoir pratiqué cette méthode, on n'en a pas saisi tous les précieux avantages.

Vouloir remplacer des tracés graphiques par des tables, ce n'est pas faire œuvre d'ingénieur, c'est marcher à reculons. Compliquer ces formules par l'introduction d'*hypothèses irréalisables*, pour aboutir à une différence de 5 p. 100, c'est à la fois ne pas se rendre un compte exact du degré de précision de la théorie, et commettre une faute de jugement; car si le choix des hypothèses est indifférent dans une recherche spéculative, un ingénieur doit sévèrement repousser toutes celles qui ne sont pas conformes à la nature des choses.

Quant à nous, nous n'avons pas donné le calcul complet du pont d'Asnières et par

là nous avons donné prise à la critique. Le motif en est très-simple. A une époque où les ponts métalliques n'étaient accueillis qu'avec une défaveur et une méfiance qu'on a peine à croire aujourd'hui, nous n'avons pas voulu mettre en relief un calcul qui faisait ressortir, avec les dimensions du pont, une différence même insignifiante, et qui pouvait soulever des difficultés. M. de Dion, dans le calcul du pont de Langon, n'a pas eu le même scrupule, et il n'a pas hésité à publier une courbe du moment de flexion dépassant le moment de résistance des tôles. Mais c'était le second grand ouvrage métallique exécuté, et l'opinion, rassurée par le succès, était déjà mieux préparée à les accueillir. »

M. Dallot croit utile, maintenant que se trouve éclaircie entièrement la question particulière d'où est née cette discussion, d'examiner l'esprit général des publications qui ont trait au débat.

M. Renaudot n'aboutit, à la suite de calculs excessivement développés, qu'à proposer de remplacer par des lignes droites les contours mixtilignes de l'enveloppe des moments maximum, et à donner pour le calcul des poutres à plusieurs travées des tables numériques dont l'usage, dit-il en propres termes, *« n'exige que des opérations « matérielles pouvant être confiées à un agent quelconque au courant seulement des « notations algébriques*, et qui, ajoute-t-il, *seront sans doute dorénavant employées « par les constructeurs.* »

Il indique du reste, dans le préambule de son mémoire, que ce travail n'a aucune visée théorique, qu'il l'a entrepris alors qu'il était encore élève ingénieur, dans l'intention de venir en aide aux *praticiens*.

Le mémoire que M. Albaret a fait insérer dans les *Annales des ponts et chaussées* mérite qu'on s'y arrête davantage. Son objet principal est de déterminer par le calcul les dimensions des poutres droites, indépendamment du nombre des travées et de leurs ouvertures respectives. Parmi les diverses questions traitées par l'auteur, M. Dallot se bornera à examiner celle qui se rapporte à la variation des moments d'inertie.

M. Albaret a voulu, avec raison, chercher à se rendre compte de l'influence que cette variation exerce sur la valeur des moments fléchissants.

Ne croyant pas, ainsi qu'il le déclare, à la possibilité d'apprécier rigoureusement cette influence, il a considéré deux cas simples : ceux d'une poutre à une travée, soit encastrée à un bout et appuyée à l'autre, soit encastrée aux deux extrémités.

Dans l'hypothèse où le moment d'inertie varie en chaque point proportionnellement au moment de flexion, M. Albaret trouve, par une élégante analyse, que, pour le premier cas, il y a une augmentation de 17 p. 100 du moment d'encastrement, et une diminution de 11 p. 100 du moment positif maximum; qu'il y a dans le second cas 12 1/2 p. 100 d'augmentation à la section d'encastrement, et 25 p. 100 de diminution au milieu de la pièce.

M. Albaret regarde ces résultats comme exprimant approximativement ce qui se passe dans les poutres à plusieurs travées. Mais une telle conclusion laisse place au doute. Car la répartition du métal, dans ce genre de poutres, reçoit l'empreinte des différentes hypothèses admises sur la position de la surcharge, et par suite la fonction qui représente la loi de variation des moments d'inertie est nécessairement discontinue.

Il y a moyen cependant d'établir des formules qui donnent les moments de flexion avec une entière rigueur, quand on connaît les sections aux différents points. Ces formules donnent lieu à des calculs très-longs, quoique exécutables. M. Dallot se

propose de les appliquer à divers ouvrages, et il communiquera à la Société les résultats qu'il aura obtenus.

M. Dallot arrive à l'ouvrage qu'il se propose principalement de discuter, c'est-à-dire à la troisième partie du cours de mécanique appliquée de M. Bresse. C'est de lui que MM. Albaret et Renaudot procèdent. Il est le chef d'école, et ils sont les disciples. C'est donc à lui que doivent revenir en même temps l'honneur et la responsabilité de la doctrine.

Il convient tout d'abord de rendre hommage au mérite, à la science de l'auteur, et de rappeler ses découvertes. On lui doit d'avoir rétabli, dans les formules de la déformation, le terme relatif à la variation de longueur de la ligne moyenne, et mis ainsi le sceau à la belle théorie de la flexion des pièces courbes, créée par Navier et Bélanger. C'est encore lui qui a signalé le principe de la superposition des effets des forces, si fertile en heureuses conséquences. Ce sont là des titres incontestables à la reconnaissance des ingénieurs. Ajoutons qu'il est d'autant plus nécessaire de prêter attention aux opinions émises par M. Bresse que sa position officielle donne un intérêt exceptionnel à tout ce qui sort de sa plume. Il nous apprend lui-même que, suivant une délibération du Conseil général des ponts et chaussées, une Commission a été nommée pour rédiger les formules applicables au calcul des ponts en métal ; qu'en qualité de rapporteur de la Commission, il s'est livré à des recherches détaillées sur la question des poutres continues ; et que c'est le résultat de cette étude qu'il livre au public dans la troisième partie de son cours. Il y a là une menace de réglementation, et l'on sent combien il est essentiel que la matière soit discutée ici. Cette Société puise dans sa reconnaissance d'utilité publique, ainsi que dans la situation que son passé lui a faite, le droit et le devoir d'étudier toutes les questions d'intérêt général se rattachant à l'art de l'ingénieur, comme de discuter les opinions des hommes susceptibles d'influer sur leurs solutions. Elle est même aujourd'hui la seule autorité capable de les apprécier avec une entière indépendance.

M. Bresse débute, dans l'introduction, par passer en revue les imperfections de la théorie des poutres droites. La première est l'hypothèse d'une section constante. Ce point a été examiné tout à l'heure; et il ne nous paraît donner lieu à aucune difficulté, puisqu'on est toujours maître d'évaluer l'influence de la variation du moment d'inertie. Non, la théorie n'est pas en défaut sur ce point, quoiqu'il ne prête pas à une analyse abstraite. D'ailleurs la pratique « *toujours disposée,* » comme le fait observer M. Bresse, « *à se contenter d'à peu près, et s'inquiétant peu des vérités rigou-* « *reuses,* » persistera sans doute dans son indifférence pour un degré d'exactitude inutile.

La seconde cause d'erreur que signale l'auteur consiste dans le mode de répartition admis pour les surcharges, et les vues qu'il émet soulèvent d'importantes objections.

M. Bresse avoue pourtant qu'il considère dans ses calculs des groupes de travées chargées, séparées les unes des autres par des travées vides, tandis que les convois n'ont jamais de discontinuité. « *En imposant ainsi*, dit-il, *l'épreuve de quelques com-* « *binaisons de surcharge qui ne se réaliseront pas en pratique, on oblige les construc-* « *teurs de donner à leurs ponts un certain excès de stabilité, faible inconvénient si* « *l'excès n'est pas lui-même trop grand.* » Comment M. Bresse n'a-t-il pas vu qu'il portait ici lui-même la condamnation de ses calculs? Comment, il faudrait construire les ponts pour des combinaisons de surcharge qui ne se réaliseront pas en pratique? Mais une théorie qui est basée sur des hypothèses irréalisables est une pure spéculation qui n'a rien à voir avec l'art de l'ingénieur. Qu'on se livre à ces recherches

pour éclaircir ou compléter une théorie, rien de mieux; vouloir en faire le guide et la loi des constructeurs, c'est tomber dans la plus grave erreur.

Eh bien, cet excès de sécurité, imposé subrepticement avec la complicité de la théorie, ne satisfait pas encore M. Bresse. Pourquoi, se demande-t-il, la surcharge d'épreuve embrasse-t-elle toujours des travées entières, et non des fractions des travées, lorsque le maximum de fatigue correspond, pour certains points, à la surcharge incomplète de la travée dont ils font partie? L'auteur, néanmoins, se résigne en ces termes :

« *Malheureusement ce serait une complication nouvelle ajoutée à des calculs passablement longs, et les constructeurs ne l'accepteraient qu'avec répugnance. L'hypothèse de la surcharge complète des travées est d'ailleurs consacrée par de nombreuses applications, sans qu'on y ait reconnu d'inconvénient grave; et de plus, en matière de calculs pratiques, il faut savoir de temps en temps sacrifier un peu de rigueur à la simplicité.* »

Il n'y a lieu de faire aucun sacrifice. La surcharge complète des travées correspond au maximum de travail pour tous les points sans exception, dans tous les cas que la pratique doit seuls considérer, c'est-à-dire lorsque la surcharge est continue.

En effet, M. Bresse démontre que le maximum du moment de flexion, en un point appartenant à une travée (T), ne peut répondre qu'à une combinaison de surcharge dans laquelle toutes les travées autres que (T) seraient ou complétement surchargées, ou complétement privées de surcharge. Il établit en outre que le moment de flexion, en un point quelconque, se compose de deux parties : l'une répondant à l'hypothèse de sa variation uniforme entre les deux appuis qui terminent la travée contenant le point considéré, l'autre égale à la valeur qu'il prendrait *si la travée en question était sciée sur ses deux appuis et indépendante du reste de la pièce, tout en conservant ses charges propres*. Mais pour une poutre simplement appuyée, lorsque la charge variable de longueur part d'une des extrémités, le maximum de travail se produit, on le sait depuis longtemps, lorsque cette charge couvre la travée entière. La première partie du moment, dans la décomposition qui vient d'être indiquée, représente d'ailleurs l'influence des travées voisines. Donc on peut conclure, avec une parfaite rigueur, que l'hypothèse la plus défavorable correspond toujours à la surcharge complète d'une ou plusieurs travées.

Répondra-t-on avec M. Renaudot que la démonstration ne s'applique pas aux ponts routes, que dans les ponts de chemins de fer eux-mêmes, plusieurs trains circulant parallèlement sur les voies différentes peuvent produire les combinaisons de surcharges que nous repoussons comme irréalisables? Une pareille objection n'aurait assurément aucune portée. Pour les premiers ouvrages, la charge d'épreuve réglementaire de 400 kilog. par mètre carré (y compris les trottoirs), ne peut être réalisée que par le passage d'une armée en déroute. En service courant, le coefficient de travail n'atteint jamais le chiffre prévu. Quant aux ponts de chemins de fer, une quantité de matière spéciale n'est-elle pas affectée dans les poutres à chaque voie en particulier, et comment ne s'aperçoit-on pas que l'on tombe dans une confusion aussi grande que si l'on prétendait que la charge d'un ouvrage exerce de l'influence sur un autre totalement indépendant du premier? On voit donc que la méthode de Clapeyron, qui se traduit graphiquement avec la plus grande simplicité, est de plus aussi générale, aussi rigoureuse, que le permet la mécanique pratique.

Mais le niveau des appuis peut ne pas demeurer invariable. Il en résulterait un

accroissement considérable de la valeur des moments de flexion. Cette éventualité dangereuse ne peut être détournée que par des précautions délicates, incertaines.

Est-il bien prudent de s'y exposer? Écoutons ici M. Bresse.

« Puisqu'il faut tant de précautions et de soins pour réaliser tout ce que suppose « le calcul préalable des dimensions de la poutre, on peut se demander si pratique« ment il arrivera que ces précautions seront toujours bien prises; si les tassements « des supports, pouvant se produire à la longue, et échapper à une surveillance « imparfaite, ne viendront pas en détruire l'effet dans beaucoup de cas. *Cette éven« tualité a semblé suffisante à un ingénieur aussi distingué comme constructeur que « comme savant, pour lui faire émettre l'opinion que les poutres à travées solidaires « devraient être proscrites, et qu'il conviendrait de s'en tenir à deux appuis simples, « dans lesquels aucun doute ne peut exister sur l'intensité des moments de flexion « en chaque point, malgré les dérangements probables des appuis. Toutefois l'opinion « contraire a jusqu'à présent prévalu ; et, en attendant les leçons que l'expérience « nous fournira sans doute, il ne nous appartient pas de trancher le différend.* »

Rapprochement curieux : la doctrine de l'*habile constructeur*, qui trouve si difficile de construire des appuis sans tassements sensibles, constitue précisément la pratique anglaise, du moins jusqu'en ces derniers temps. L'abus de la théorie et son exclusion systématique aboutissent logiquement à la même conclusion!

Ainsi, malgré tant d'ouvrages remarquables, qui sont l'honneur de notre génie civil, nous ne sommes pas en possession définitive du droit de construire des poutres continues! La main pesante de la réglementation peut toujours s'abaisser sur nous et nous ramener de force aux errements de la routine. Hâtons-nous donc de prouver que cette pratique, dont on se méfie tant et que l'on contrôle de si haut, est en mesure de répondre victorieusement à toutes les accusations portées contre elle.

Un membre de cette Société, M. Georges Tardieu, qui vient de construire à Arles, sur le Rhône, pour le passage de la ligne de Lunel, un pont à cinq travées, dont les ouvertures centrales ont 68 mètres, et dont les poutres n'ont pris pendant les épreuves qu'une flèche de moins d'*un centimètre*, quoiqu'il n'ait considéré dans ses calculs que des surcharges continues, M. Tardieu, disons-nous, est l'auteur d'un appareil d'appui, permettant de relever les poutres avec la plus grande facilité, lorsque des tassements viennent à se produire. Cet appareil se compose d'un premier plateau placé sous la poutre et présentant à sa partie inférieure deux inclinaisons en sens opposés qui convergent vers le centre parallèlement à sa longueur; d'un second plateau, symétrique du premier et reposant directement sur l'appui; de deux coins, dont les inclinaisons correspondent à celles des plateaux entre lesquels ils sont placés, et d'une vis, filetée en sens contraires, qui traverse deux écrous logés dans ces coins. En faisant tourner la vis, les deux coins s'éloignent ou se rapprochent, et par conséquent abaissent ou relèvent la poutre. La manœuvre est facilitée par une roue dentée venue de forge concentriquement avec la vis. En agissant sur cette roue au moyen d'une clef spéciale, on dispose d'un bras de levier suffisant pour vaincre le frottement et l'adhérence des surfaces en contact. Un talon adapté à l'un des sabots sert de repère, et sur la plaque du regard par lequel on visite l'appareil de calage se trouve en lettres venues de fonte la recommandation de vérifier fréquemment les niveaux.

Cet appareil est destiné à un pont, formé primitivement de voûtes en maçonnerie,

dont les piles s'enfonçaient, et que l'on remplace par un tablier en tôle, pour décharger le sol des fondations.

On voit que les *praticiens* des chemins de fer de la Méditerranée, au lieu de s'effrayer outre mesure de la perspective des tassements, se préparent beaucoup plus sagement à les combattre, quand ils sont inévitables.

Passant à l'examen de la manière dont M. Bresse a traité la question de la détermination des moments fléchissants au-dessus des appuis, M. Dallot ne saurait trouver trop d'éloges pour l'exposé des simplifications importantes que l'auteur a apportées à la solution géométrique de ce problème.

« Étant connus les effets produits par une série de forces agissant isolément, on en « déduit l'effet total, dû à la réunion de toutes ces forces, par une composition sem« blable à celle des vitesses d'un même point; et si ces effets sont un déplacement « dans une direction donnée, ou un moment fléchissant parallèle à un plan fixe, la « composition se changera en une somme algébrique. »

C'est là le théorème de la superposition des effets des forces, tel que l'énonce M. Bresse.

Si l'on considère séparément la charge permanente uniformément répartie sur toute la longueur de la poutre, et la surcharge occupant un nombre variable de travées, la première produira des moments représentés dans chaque travée par les ordonnées d'un arc de parabole; quant à la seconde, les moments seront représentés par les ordonnées d'un arc de parabole dans les travées surchargées et par les ordonnées d'une ligne droite dans celles qui n'ont pas de surcharge.

Imaginons que chaque travée soit successivement chargée seule et que dans chaque cas on construise pour la poutre entière le contour-enveloppe des moments, en faisant abstraction bien entendu de la charge permanente; puis qu'on ajoute en chaque point d'une part toutes les ordonnées positives; d'autre part toutes les ordonnées négatives, en additionnant ensuite algébriquement avec chacune des deux sommes l'ordonnée correspondant à la charge permanente appliquée seule, en vertu du principe énoncé plus haut, les deux sommes totales ne seront que les moments limites de signes contraires produits par toutes les combinaisons de surcharges; et la plus grande en chaque point représentera le plus grand moment qui puisse y être exercé. On aura donc, en réunissant par une ligne continue les extrémités de ces ordonnées maximum, le contour-enveloppe des moments maximum résultant de toutes les combinaisons possibles de surcharges.

On voit qu'avec cette méthode, puisque dans chaque position différente de la surcharge il n'y a d'arc de parabole à construire que pour la travée surchargée, et qu'aux autres travées correspondent des lignes droites, le nombre des arcs de parabole à tracer, pour tenir compte de tous les cas de répartition possibles, se réduit au nombre des travées, si ce dernier nombre est pair, et s'il est impair, au nombre des travées, plus une unité. Car, pour deux travées placées symétriquement par rapport au milieu de la poutre, les arcs de parabole correspondants sont évidemment symétriques. Ajoutons, pour donner une idée complète du degré de simplicité obtenu, que tous les arcs relatifs à la charge permanente appartiennent à la même parabole, et qu'il en est de même pour tous ceux qui se rapportent à la surcharge. Cette dernière propriété a été remarquée par MM. Molinos et Pronnier dès l'origine.

M. Bresse expose ensuite ce qu'on pourrait appeler les *propriétés caractéristiques* de la courbe-enveloppe des moments maximum, propriétés curieuses sans doute,

mais inutiles pour déterminer les moments de flexion. Il est néanmoins nécessaire de les énoncer ici, parce que l'auteur, comme on le verra plus loin, en a fait la base d'une méthode particulière qui forme la conclusion de son travail.

I. Dans une travée intermédiaire quelconque, toutes les droites représentatives des moments produits par la surcharge isolée de chacune des autres travées forment deux faisceaux concourants en deux sommets situés sur l'axe, de part et d'autre duquel on élève les ordonnées, entre les points de cet axe correspondant aux extrémités de la travée que l'on considère. De plus, l'axe de parabole représentatif des moments dus à la surcharge de cette travée coupe toujours l'axe entre les points extrêmes et les sommets des deux faisceaux.

II. Dans une travée extrême, il n'y a qu'un seul faisceau de droites, dont le sommet est situé à l'extrémité de la poutre, point par lequel passe également l'arc de parabole qui n'a plus ainsi qu'une intersection avec l'axe.

III. Le signe du moment de flexion en un point quelconque reste toujours le même pendant que la surcharge se déplace dans une même travée hors de celle où ce point se trouve situé.

IV. Le signe du moment de flexion en un point quelconque change chaque fois que la surcharge, en se déplaçant toujours du même côté de la travée qui contient ce point, vient à franchir un appui ; et par conséquent il se conserve ou se modifie suivant que le nombre des appuis traversés est pair ou impair.

V. Dans une travée intermédiaire quelconque, on obtient les moments maximum dus à l'action de la surcharge :

1° En surchargeant les deux travées qui se rejoignent à l'appui dont on part, et toutes les autres de deux en deux, pour tous les points compris entre cet appui et la première intersection de l'axe par l'arc de parabole correspondant à la surcharge de la travée considérée;

2° Par une combinaison de surcharges identique à la précédente, sauf qu'on enlève celle de la travée dont on s'occupe, pour tous les points compris entre la première intersection de l'arc de parabole désigné ci-dessus et le sommet du premier des deux faisceaux de droite dont il est parlé dans l'énoncé I;

3° En surchargeant de deux en deux toutes les travées de la poutre, celle dont on s'occupe étant laissée vide, pour tous les points compris entre les sommets des deux faisceaux;

4° En laissant vide la travée considérée et sa voisine à gauche, puis surchargeant les deux travées contiguës à ce vide, ainsi que les autres de deux en deux, pour la région comprise entre le sommet du second faisceau et la deuxième intersection de la parabole avec l'axe;

5° En surchargeant les deux travées attenantes au second appui, et les autres de deux en deux, pour la région comprise entre la deuxième intersection de la parabole avec l'axe et ce second appui.

VI. Dans une travée extrême, on obtient les moments maximum dus à l'action de la surcharge : 1° en surchargeant simultanément toutes les travées de rang pair, pour la région comprise entre l'extrémité de la poutre et le point d'intersection de la parabole avec l'axe;

2° En surchargeant les deux premières travées et les autres de deux en deux, pour la région comprise entre l'intersection précédente et la première pile.

Il ne faut pas oublier que les propriétés précédentes sous-entendent qu'on fait abstraction de la charge permanente. Qu'on ait bien soin de remarquer en outre que *les deux derniers énoncés disparaissent si l'on omet quelques-unes des combinaisons de surcharges géométriquement possibles.*

Pourquoi M. Bresse ne s'en est-il tenu là? Il avait réussi à porter la méthode existante au dernier degré de simplicité dans l'application, et même orné la théorie de quelques curiosités dont l'indication n'était pas absolument déplacée dans l'enseignement. Le sujet pouvait donc être regardé comme épuisé.

Tel n'a pas été son avis, et, adoptant désormais l'usage exclusif de l'analyse, il a, pour ainsi dire, recommencé sa tâche. Toutes les ressources de l'algèbre supérieure ont été mises en œuvre pour obtenir les expressions générales des moments dus tant à la charge permanente qu'aux diverses surcharges, et celle des abscisses des quatre points relatifs aux propriétés caractéristiques de la courbe-enveloppe des moments maximum, le tout dans le cas d'un nombre indéterminé de travées, et même d'un nombre de travées infini, le rapport de la longueur d'une des travées extrêmes à celle d'une des travées intermédiaires (supposées toutes égales), restant également indéterminé. Au moyen de ces expressions analytiques, M. Bresse a dressé des tables et un formulaire dans lesquels on trouve les valeurs des moments sur les appuis, et des abscisses des points singuliers du contour-enveloppe, ainsi que les équations des arcs de parabole dont il se compose, pour les poutres de trois à douze travées, et dans chaque cas particulier pour huit valeurs différentes du rapport des longueurs d'une travée extrême et d'une travée intermédiaire.

Ici les objections se pressent en foule. En premier lieu, si M. Bresse entend considérer autre chose que les entités métaphysiques, sa façon de voir a dû bien changer depuis la publication de la première partie de son cours. Voici en effet ce qu'il écrivait alors :

« L'influence de la charge qui agit sur une travée est encore relativement sensible « dans la travée contiguë; elle est très-notablement affaiblie dans la travée qui suc- « cède à celle-ci; enfin elle est à peu près relativement nulle dans la travée sui- « vante.

« Si l'on admet, d'après cette considération, que, dans la pratique, il est suffisant « de se préoccuper de l'influence qu'exerce une charge dans la travée voisine, *il n'y « aura plus beaucoup d'intérêt à étudier ce qui se passe dans des poutres à plus de « trois travées. En effet, quand une poutre aura plus de quatre appuis, pour résoudre « tous les problèmes de la résistance des matériaux relatifs à une travée intermé- « diaire, on sera en droit de supposer la poutre terminée aux deux travées qui « touchent celle-là, puisque les forces exercées sur les autres n'ont pas d'influence « sensible sur celle que nous avons à considérer. S'il s'agissait d'une travée de rive, « on pourrait même à la rigueur se borner à lui joindre celle qui la suit, et on ren- « trerait ainsi dans le cas d'une poutre à deux travées. A plus forte raison les résul- « tats seront-ils suffisamment exacts si l'on conserve trois travées au lieu de deux.* »

L'influence de la charge d'une travée sur le deuxième appui qui la suit n'est en effet que le 1/14 du moment de flexion exercé sur le premier appui, d'après le calcul de l'auteur lui-même; et c'est cette fraction que M. Bresse trouvait autrefois, non sans raison, parfaitement négligeable. Si en ce temps on lui eût proposé, comme nous le faisons volontiers aujourd'hui, d'aller jusqu'à considérer cinq travées, ce qui

réduit à moins de 1/52 l'erreur commise, nul doute qu'il n'eût trouvé plus que suffisant un tel degré d'approximation.

Comment s'expliquer qu'après avoir écrit ce qui précède, M. Bresse se soit lancé à la poursuite d'une exactitude vraiment chimérique, et cela en vue de resserrer les mailles du contrôle administratif!

Si les tables et le formulaire qui terminent son ouvrage devenaient le criterium de l'approbation des projets, jamais atteinte plus grave n'aurait été portée à l'indépendance des ingénieurs et à leur libre responsabilité. Ils seraient forcés d'admettre des cas de surcharge qui, maintes fois, feraient violence à leur raison. Ce serait le renversement des rôles. La part de la théorie dans l'art est déjà assez belle et assez large quand elle se renferme dans le cercle de ses attributions naturelles. Mais elle en sort lorsqu'elle prétend imposer l'admission de conditions qui ne reposent sur rien de réel. C'est à la pratique qu'appartient le droit de poser et de circonscrire les questions comme elle l'entend et comme elle en sent le besoin. La théorie doit se borner à lui répondre avec exactitude.

On se ferait d'étranges illusions si l'on croyait avoir au moins obtenu les éléments d'une réglementation précise. Rien de plus contraire à la vérité des faits. Dans les poutres telles qu'on les construit, le coefficient de travail dépend des conditions multiples que la théorie n'essaye même pas d'analyser.

Est-ce que les semelles horizontales travaillent uniformément sur toute l'étendue de leur largeur? L'effort qu'elles subissent ne dépend-il pas de la liaison plus ou moins complète établie entre les extrémités par la partie centrale?

Autre point qu'on perd absolument de vue. Lorsqu'on met une poutre en place par le système de la translation horizontale sur des rouleaux, la première travée ne subit-elle pas des efforts atteignant quelquefois le double de ceux auxquels la soumet la surcharge, malgré l'emploi d'un avant-bec et de haubans? Les parties de la poutre correspondant aux points d'inflexion des courbes des moments, n'arrivent-elles pas dans le cours de la manœuvre à reposer sur les appuis, et la distribution de la matière ne doit-elle pas en être notablement modifiée?

On pourra répondre que l'on vérifie par les épreuves de réception si le métal n'a pas été forcé. Mais alors pourquoi ne pas se fier aussi aux épreuves pour reconnaître s'il a été réparti convenablement et en quantité suffisante, et suivre l'exemple donné de haut à propos des appareils à vapeur, en renonçant à une réglementation radicalement impuissante à tout prévoir?

Supposons pour un instant que la théorie parvienne à vaincre toutes les difficultés qu'elle n'aborde même pas encore. On n'en serait guère plus avancé pour cela; et la nature saurait bien trouver une retraite plus inaccessible pour nous y dérober la conquête de l'absolu. Par exemple, pour les constructions d'une grande importance, on est souvent obligé d'approvisionner le fer nécessaire dans plusieurs usines d'un même bassin, et même de bassins et de contrées différentes. Dans l'une on commande les cornières, dans une autre les tôles verticales, dans une troisième les fers plats des semelles.

Or la nature des minerais, la qualité de la houille, les procédés d'élaboration varient suivant les lieux. C'est ce qui explique comment on trouve des nombres si écartés les uns des autres pour la valeur du coefficient d'élasticité. D'après les expériences de Brunel, cette valeur est de 14 ou 15 billions; celles du général Morin sur les poutrelles de planchers donnent 11 à 12 billions; les flexions observées par M. Tresca sur les arcs de la dernière Exposition universelle fournissent 16 billions;

d'après M. Albaret les tables (?) indiquent 20 billions. Il n'y a pas là de contradiction et tous ces résultats peuvent être séparément exacts. Les essais à la traction confirment constamment l'existence de différences aussi grandes. Le coefficient varie dans une même usine pour les produits de natures diverses. Mais alors, quand une poutre se trouve être une sorte d'ouvrage de marqueterie, dont tous les éléments ont une élasticité différente, de même que la variation des sections entraîne la modification des valeurs des moments fléchissants, par une conséquence analogue, une modification tout aussi importante sera le résultat du manque d'homogénéité de la matière; *et la science du calculateur aura été dépensée en pure perte, s'il a voulu obtenir une exactitude plus approchée que ne le comportent les données dont il dispose.*

M. Bresse s'est livré à de laborieux calculs pour déterminer le rapport le plus favorable entre la longueur de la travée de rive et celles des travées intermédiaires. Recherches superflues. Ses calculs sont d'abord théoriquement incomplets, parce qu'il n'a pas tenu compte de l'âme dont les dimensions et le coefficient de travail varient également avec ce rapport. Mais, en outre, ce n'est pas dans cet ordre d'idées que la pratique se place pour les fixer. Elle les détermine le plus souvent en raison des conditions du levage, afin que pendant cette opération la construction ne soit pas mise à une trop rude épreuve. Cette considération est bien plus intéressante pour elle que tous les développements en séries.

Quand on réfléchit que le livre entier est consacré à la solution d'un seul des éléments du problème de la détermination des dimensions d'une poutre, et à peine du plus important, on ne peut pas résister à la conviction que l'auteur s'est engagé dans une voie fausse.

Il avait eu la bonne fortune de réussir à perfectionner une théorie déjà presque complète, une des plus belles, des plus exactes, que notre art possède. Cette théorie avait par surcroît la simplicité; elle possédait la qualité inappréciable de pouvoir se traduire graphiquement. M. Bresse n'a pas hésité à sacrifier tant d'avantages pour une méthode qui n'a pas plus d'exactitude, qui est en définitive plus longue, et exige pour être saisie que l'on passe par deux cents pages des calculs les plus compliqués et les plus abstraits.

Les ingénieurs consentent, lorsqu'il le faut, à employer des tables, à condition que les principes sur lesquels la construction en repose, soient tangibles pour leur esprit, et qu'ils aient parcouru au moins une fois la chaîne des raisonnements dont la théorie en est formée. Mais dans les cas actuel ce n'est pas possible. Les exigences des affaires ne permettent généralement pas aux hommes engagés dans la pratique de passer en revue l'arsenal entier de l'algèbre, non pour y puiser des connaissances et des ressources nouvelles, ce qui, parfois, le justifierait, mais à propos d'une question déjà lumineusement résolue et qui ne comporte pas d'aussi intrépides efforts. On oublie trop une chose, c'est que, de même que ce fer sur l'emploi duquel nous discutons, le cerveau lui aussi a sa limite d'élasticité. Il n'est pas bon de passer trop brusquement de la contemplation de l'absolu au maniement du monde réel. L'abus de cette gymnastique intellectuelle énerve et fausse, quand il ne le brise pas, l'instrument même de la pensée.

Est-ce à dire qu'il faille repousser la science, même la plus profonde, même la plus élevée? A Dieu ne plaise. Mais est-ce donc lui faire la guerre que de la vouloir limpide, lucide, dégagée d'abstractions inutiles? La science véritable, non pas cette science stérile qui s'épuise en vaines subtilités, mais la science puissante, féconde, qui nourrit les arts, celle-là vit avant tout d'évidence et de clarté. C'est ce que pro-

clament les savants qui ont le plus enrichi le champ des conquêtes de l'esprit humain. Un jour le grand géomètre Poinsot, indigné de voir les calculateurs enfouir sous la masse de leurs formules les vérités qu'il avait mises en lumière, prononça ces remarquables paroles :

« *S'il pouvait y avoir une manière de faire rétrograder les sciences, ce serait de*
« *compliquer ce qui avait été rendu simple et de remettre un voile sur ce qui avait*
« *été découvert.* »

MM. André, Bouchotte, Epstein, Hodgson, Charpentier, Neri, Fabre, ont été reçus membres sociétaires, et M. Ferdinand de Lesseps membre associé.

Séance du 17 Avril 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 3 avril est adopté.

M. Contamin demande la parole pour répondre aux observations présentées dans la dernière séance, par M. Dallot, sur l'ouvrage de M. Bresse.

M. le Président fait observer que cette question n'étant pas à l'ordre du jour, M. Contamin, lorsque la discussion reviendra, pourra prendre la parole; il a reçu également une nouvelle note de M. Albaret sur la même question, dont la lecture est renvoyée à une autre séance.

Il est donné lecture du rapport de la commission chargée d'examiner le mémoire de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, sur la résistance des trains et la puissance des machines, pour concourir pour le prix fondé par M. A. Perdonnet[1].

Dans ce rapport, la commission ayant décidé à l'unanimité qu'il y avait lieu de décerner le prix Perdonnet aux auteurs de ce mémoire, M. le président remet la médaille à M. Vuillemin.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Tardieu Georges, par laquelle il fait remarquer que dans la dernière séance M. Dallot, en parlant du pont sur le Rhône, à Arles, et des appareils de calage du pont sur la rivière du Loup, n'a désigné que lui comme le seul auteur de ces projets. M. Tardieu indique que les études ont été faites sous sa direction, il est vrai, mais sous les ordres et d'après les avis de M. Fabre, ingénieur du matériel fixe, et de MM. Molard et Delerue, ingénieurs en chef.

M. le Président, avant d'ouvrir la discussion sur les chemins de fer d'intérêt local et pour compléter l'exposé de la question, donne lecture des considérations suivantes, qu'il emprunte au rapport de M. Flachat, sur la classe 63 à l'Exposition universelle.

« *Transports sur les voies de terre. Chemins de fer à petite voie.* — Le prix des

1. Nous ne reproduisons pas ici ce rapport qui se trouve publié *in extenso* dans le Bulletin du 4e trimestre de 1867, page 805.

transports sur les routes ordinaires s'est élevé; il est aujourd'hui de 0 fr. 30 c. par kilomètre. Sur les chemins vicinaux il s'élève souvent bien au delà, surtout pour les grandes usines, à cause de l'indemnité mise à leur charge pour la réparation des chemins. Le préjudice causé par un prix aussi élevé des transports sur les routes de terre donne un vif intérêt à l'établissement des lignes ferrées, dont l'Exposition offre pour la première fois les plus intéressants spécimens. Tels sont les chemins de fer, à voies de 0m.80, 1 mètre et 1m.20, des charbonnages, des gîtes et usines métallurgiques, et des fabriques de sucre de betteraves. Ces chemins sont desservis par des locomotives, dont trois remarquables types sont exposés : la machine à voie de 0m.80, du poids de 6,600 kilogrammes, construite par le Creusot; la machine à voie de 1 mètre, du poids de 19 tonnes 6, construite par la Société Boigues, Rambourg et Cie; et, pour les très-fortes inclinaisons, la machine Fell, à voie de 1m.10, avec rail central, de 21 tonnes 5, construite par M. Gouin. On sait que l'effort continu que peut exercer un fort cheval est de 50 kilogrammes, à la vitesse de 1 mètre par seconde pendant huit heures; or, l'effort continu que ces trois machines peuvent effectuer régulièrement correspond à 22.65 et 109 chevaux, à la vitesse de 5 mètres par seconde. Ces chiffres seuls suffisent pour donner la mesure de l'économie qui résulte de la substitution des machines aux chevaux sur les chemins de fer lorsque le trafic suffit à les alimenter. Les deux premiers types ont accompli pendant plusieurs années des transports considérables, et le prix de revient de la traction d'un train n'y dépasse pas 0 fr. 35 à 0 fr. 55 par kilomètre pour la charge correspondante à leur adhérence et aux déclivités du chemin. Les autres sources de dépenses élèvent le prix de revient du transport par tonne et par kilomètre à 4 ou 5 centimes au plus, intérêt du capital non compris. C'est donc un tarif de 8 à 10 centimes par tonne et par kilomètre qui se substituera au coût actuel de 0 fr. 30, partout où ces chemins à petite voie, desservis par des machines, remplaceront les chemins vicinaux. La vitesse y sera de 15 à 20 kilomètres par heure au lieu de 4 kilomètres.

« La dépense d'établissement de ces chemins varie de 20,000 à 30,000 francs par kilomètre. Celui des chemins de terre varie de 4,000 à 10,000 francs, mais leur entretien est très-coûteux, et ils cessent souvent d'être viables dans la saison humide; c'est pour cela que leur faculté de transport est très-faible, comparativement aux chemins à locomotives.

« Aux taux de 20,000 francs par kilomètre, il suffit d'un transport de 20,000 tonnes par an et par kilomètre (55 tonnes par jour) pour couvrir largement l'intérêt du capital. Que de foyers d'industrie et de production agricole, isolés des chemins de fer et des voies navigables, ont intérêt à se relier au réseau général par un moyen si peu coûteux!

« Nous citerons quelques exemples :

« Le premier de ces chemins a été celui de Festiniog, en Angleterre (Caërnavon); sa voie est de 0m.61 ; il a 21 kilomètres de longueur et des inclinaisons de 0,0167, des courbes de 40 mètres de rayon. Ses locomotives pèsent 7,500 kilogrammes et remorquent 50 tonnes, à la vitesse de 16 kilomètres. Il transporte des voyageurs et des marchandises. De 1862 à 1863, il fut desservi par des chevaux. L'emploi des locomotives réduisit les frais d'exploitation de 22 p. 100.

« En Prusse, le chemin de Broelthal, à voie de 0m.816, a 19 kilomètres 7 de longueur; il occupe une partie de la route. Ses courbes ont 37m.70 de rayon. Ses machines sont à 6 roues et pèsent 12 tonnes, le rail pèse 10kg.43.

« Le chemin de fer de Commentry à Montluçon, à voie de 1 mètre, servi par des

locomotives, a un mouvement annuel de 400,000 tonnes. Une de ses machines était exposée.

« Le chemin de fer d'Anvers à Gand, à voie de 1m.15, fait 16 trains par jour à la vitesse de 40 à 60 kilomètres et une recette de 18,600 francs par kilomètre. Il a transporté 486,874 voyageurs (1865).

« Les chemins de Norwége, à 1m.06 de voie, entrent dans le réseau principal de ce pays.

« Le chemin de Mondalazac, à voie de 1m.10, établi par la Compagnie d'Orléans, pour le transport des minerais, a des machines de 9 tonnes et des rails Vignole de 16kg.5; ses courbes sont de 40 mètres de rayon.

« Le chemin de fer qui passe sur le col du mont Cenis a 1m.10 de voie. La disposition à rail central de cette voie, dont l'invention est, en France, due à M. le baron Séguier, a pris rang dans les moyens de locomotion pour la traversée des montagnes par des déclivités dépassant 45 millimètres par mètre. Elle est encore à l'état expérimental, mais dans des conditions qui semblent en assurer le succès.

« C'est donc un des progrès saillants constatés par l'Exposition que l'établissement des chemins de fer à petite voie, avec la substitution des machines locomotives aux chevaux sur ces chemins; et il y a lieu d'espérer que, mis, par leur faible coût de construction, à la portée des ressources financières des particuliers, des communes et des départements, ces chemins se substitueront aux voies de terre sur les points où les transports ont un certain degré d'activité.

« Il est difficile d'estimer l'importance des transports sur les chemins vicinaux et sur les routes ; on sait seulement que la circulation des matières sur les chemins de fer est, en France, de 5,837 millions de tonnes à un kilomètre (1865). Les appréciations les plus diverses peuvent être faites sur la corrélation entre cette circulation et celle qui s'accomplit sur les routes de terre. Elle peut être de beaucoup supérieure, mais, dans tous les cas, l'économie des deux tiers du coût actuel de transport, qui, dans beaucoup de cas, serait obtenue, montre suffisamment la grandeur de l'intérêt qui s'attache aux développements des chemins de fer de cette espèce.

« Les chemins à voie réduite embranchés sur les chemins à grande voie exigent le transbordement de leur chargement. Il en est de même, sur une très-grande échelle, aujourd'hui, des lignes qui ne peuvent se priver, même momentanément, de leur matériel roulant. Le transbordement de wagon à wagon coûte, au maximum, 20 c. par tonne, ce qui équivaut à un parcours supplémentaire de 4 kilomètres. C'est une constante à mettre en balance de l'économie que présente l'établissement des chemins de fer à voie réduite.

« Quatre chemins de fer, d'ensemble 292 kilomètres, à voie de 1m.067, sont exploités en Norwége. Le mouvement y est de 1,042,521 tonnes et de 86,364 voyageurs à un kilomètre. La dépense varie de 4,300 à 2,000 francs par kilomètre; elle est couverte par les recettes. Ces chemins entrent à peine en exploitation. Le train produit de 2 fr. 30 à 2 fr. 76 et coûte 1 fr. 97 à 2 fr. 82, suivant les déclivités. C'est un des spécimens les plus intéressants sur lesquels l'Exposition aura attiré l'attention. »

M. Mathieu (Henri) donne ensuite lecture d'une note sur les chemins de fer d'intérêt local (cette note est publiée *in extenso* dans le *Bulletin* du premier trimestre 1868, page 156, à la suite de celles de M. Richard et de MM. Molinos et Pronnier).

M. Debauge, en abordant la question des chemins de fer d'intérêt local, croit devoir payer un juste tribut à la mémoire de M. le comte Dubois, enlevé par une mort

subite au conseil d'État, où il avait été rapporteur de la Loi sur les chemins de fer d'intérêt local. M. le comte Dubois devait assister à la séance de ce jour. Il portait le plus vif intérêt aux progrès des questions se rattachant à l'extension du réseau des chemins de fer, que M. Debauge regrette de voir dénommer d'intérêt local; pour lui les chemins de fer sont classés suivant leur importance, en chemins de grand, moyen et petit trafic. Invité au mois d'août dernier par M. Flachat, à cette époque président de la Société, à faire des travaux du chemin de fer de Fougères à Vitré l'objet d'une communication, M. Debauge demanda un délai, et présenta à la Société son mémoire le 20 septembre dernier. L'inauguration du chemin avait eu lieu le 25 août, l'exploitation commença en septembre.

Dans cette communication, M. Debauge ne présenta pas le chemin de fer de Fougères à Vitré comme un chemin d'intérêt local, mais comme un chemin ordinaire, subventionné par l'État, le département et la ville de Fougères. Les subventions jointes à la souscription des actions et obligations représentaient un capital de 2,500,000 francs, avec lesquels il fallait construire une ligne de 37 kilomètres. La route présente des pentes de 7, 8, 10 centimètres par mètre, et ne pouvait être utilisée; de plus la nature granitique du sol devait faire éviter le plus possible les déblais. Les études ont permis d'espérer qu'on ne dépasserait pas un chiffre de 67,000 francs par kilomètre. Personne au conseil des travaux publics ne s'est inscrit contre ce chiffre, qui a été effectivement le chiffre atteint. M. Richard en a contesté l'exactitude, M. Debauge croit pouvoir le maintenir et proteste contre les allégations du mémoire de M. Richard.

M. Debauge termine en exprimant le désir de voir continuer la discussion de cette question, mais il voudrait qu'un programme fût établi pour en régler l'ordre.

M. Richard fait observer qu'il a pris soin de dire dans son mémoire qu'il demandait, s'il y avait une erreur dans quelque chiffre, à ce qu'elle fût redressée par quelque document sérieux; mais il avait le droit de puiser, comme il l'a fait, dans la publication de M. Debauge, les chiffres qu'il a avancés. M. Richard tient d'une source qu'il juge digne de foi, que le prix de revient kilométrique de 67,500 fr. se trouve déjà porté à 85,000 francs. Le but de sa communication était de faire ressortir la grande difficulté d'établir un chemin de fer à moins de 100 à 110 mille francs par kilomètre. M. Molinos a cité un résultat contraire, obtenu par le concours de diverses conditions, notamment la réduction de la largeur de la voie. M. Richard applaudit à ce résultat, mais il s'agissait d'un intérêt tout à fait privé qui n'impose pas les mêmes obligations que l'intérêt public. Il est à désirer toutefois que les intérêts privés prennent l'initiative de semblables entreprises; du petit au grand chemin il n'y aura plus qu'un pas.

M. Molinos s'associe à la pensée de M. Debauge de rédiger un programme pour l'étude des questions se rapportant aux chemins de fer d'intérêt local.

Une chose frappe M. Molinos dans les mémoires de M. Richard et de M. Mathieu, c'est la presque unanimité des hommes les plus compétents pour évaluer à 100 ou 110,000 francs le kilomètre de chemin de fer; on est d'accord sur ce point que les départements fournissant toute l'infrastructure, une compagnie arriverait néanmoins toujours à une dépense minimum de 60,000 fr. par kilomètre.

Les chemins de fer se trouvent naturellement séparés en deux classes, suivant qu'ils ont un trafic inférieur ou supérieur à 10,000 fr. par kilomètre. En effet, on ne peut songer à former une compagnie qui ne rapporte que cinq pour cent de rémunération du capital. Dans de telles conditions, M. Molinos propose l'adoption des che-

mins à voie réduite. M. Richard la croit bonne pour satisfaire les besoins privés. Mais tous les chemins de fer en sont là, et il n'est pas inutile de chercher à appliquer les chemins à voie étroite à la satisfaction des intérêts de tous. Le chemin de fer de Tavaux-Pontséricourt ne coûte que 28,000 francs par kilomètre, mais il a été construit dans des conditions particulières, avec des rampes excessives et des courbes à très-petit rayon. M. Molinos pense qu'il conviendrait de ne pas dépasser 30 millimètres pour les rampes, ni descendre au-dessous de 100 mètres pour le rayon des courbes. Le rail est aussi un peu léger, il ne pèse que 13 kilogrammes le mètre, ce qui ne donne pas une voie assez rigide; 20 kilos est un maximum aux yeux de M. Molinos pour le poids des rails à adopter dans le système qu'il préconise. En ajoutant aux surcroîts de dépense venant de ces diverses causes celui provenant de la construction de petites stations, on ne dépasserait pas 50,000 fr. La puissance de ces chemins serait considérable : celui de Commentry a un trafic de 400,000 tonnes par an; à 0fr.10, cela représenterait 40,000 fr. Une seule objection peut être faite, c'est la nécessité de rompre charge aux points de jonction avec les grandes lignes. Cette question peut être facilement résolue, et rien ne reste à objecter à la création des chemins à voie réduite; on ne verra plus alors se faire des chemins si onéreux qui immobilisent un capital sans pouvoir le rémunérer. Quelle est donc l'importance de cette question de transbordement? Toutes les usines du département de l'Aisne ne payent que 0fr.25 par tonne pour le déchargement du wagon à terre et le rechargement en voiture. Il faut enfin, pour apprécier tout l'intérêt qui s'attache à la construction de ces chemins de fer, remarquer que pour un trafic produisant 6,000 fr. par kilomètre, il y a une économie de 12,000 fr. réalisée, puisqu'on fait payer à la marchandise 0f,10 au lieu de 0f,30 que coûte le transport par roulage.

M. Ribail pense que le prix de main-d'œuvre pour le transbordement n'est pas seul à considérer; le chemin de fer à petite voie lui paraît incommode pour le transport des marchandises encombrantes. Dans la Sarthe et dans la Mayenne, les chaufourniers ayant à se raccorder avec les chemins de fer, ont fait des embranchements à grande voie; s'il leur fallait payer un transbordement leurs prix en subiraient une augmentation fatale à la vente de leurs produits. Il ne faut donc pas être absolu dans ces questions; en outre, si on augmente les pentes, le rapport du poids mort au poids utile deviendra désavantageux. Enfin le trafic de certains chemins, particulièrement de ceux destinés à transporter les produits du sol étant sujet à de grandes variations, il y aura des époques où la petite ligne, isolée des autres par sa voie, manquera certainement de matériel pour satisfaire aux besoins du moment; ou bien elle sera entraînée à construire un matériel relativement considérable, inactif une grande partie de l'année, et dont les frais absorberont une partie de l'économie que l'on prétend réaliser en établissant la petite voie. M. Ribail ne pense donc pas qu'on puisse d'une manière absolue classer les chemins de fer en deux catégories, suivant que leur trafic est inférieur ou supérieur à 10,000 francs.

M. Molinos demande à M. Ribail quelle est la longueur des embranchements dont il parle; si elle est de quelques centaines de mètres, il est très-naturel qu'on ne puisse accepter un transbordement, et dans ce cas il lui paraît évident que l'objection ne porte pas.

M. Larpent considère l'égalité de la largeur de voie, de tous les chemins d'utilité publique, comme indispensable pour assurer l'économie, la célérité et la régularité des transports par chemins de fer.

L'opération spéciale de transbordement des marchandises aux embranchements

ne comporte qu'une partie de la dépense occasionnée par la rupture de charge. En effet, il faut encore ajouter les frais d'inscription, de reconnaissance, de manœuvres, de formation de trains, etc., etc., sans parler des avaries, des déchets et des pertes de temps, dont il faut encore tenir compte.

Toutes ces dépenses ont bien été appréciées, évaluées plus ou moins exactement, mais elles ont été rarement présentées comme le résultat d'un fait d'exploitation.

M. Larpent dit qu'il payait 0fr.85 par tonne de marchandises transbordées à l'embranchement du chemin qu'il a exploité en Hollande. Il ajoute que pour une grande gare qu'il pourrait citer, et dont le trafic annuel dépasse 1,000,000 de tonnes, le chiffre de ces dépenses s'élève à 0f.825.

Suivant lui, les dépenses qui résulteraient des ruptures de charges dépasseraient le plus souvent le fret, qu'on nomme tarification.

M. Molinos fait observer que M. Larpent vient de choisir un exemple, pour lequel il a fait lui-même des réserves. C'est le cas d'une ligne de transit très-courte, réunissant deux grandes voies; quant au chiffre de 0fr.825 que M. Larpent vient de citer, il ne peut s'appliquer aux transbordements proprement dits, mais à une série de dépenses qui appartiennent en réalité au mouvement et sont par conséquent tout à fait indépendantes de la question en discussion. Il ne faut pas attribuer en effet au transbordement des manœuvres de gare et des frais généraux qui se produisent indépendamment du système de voie.

M. Richard donne le chiffre de 0fr.60 pour transbordement, y compris aiguillages et manœuvres de gare.

M. Nordling dit que des transbordements considérables ont lieu actuellement d'un réseau à un autre, et même sur un même réseau; il s'en fait à tous les embranchements; M. Nordling voudrait bien que la proportion vraie fût indiquée par les membres de la Société attachés au service d'exploitation.

M. Forquenot dit qu'il serait en effet très-intéressant de connaître la dépense occasionnée par le transbordement, mais il y a bien des circonstances particulières à apprécier. Sur les lignes exploitées, cette opération ne lui paraît pas avoir une grande importance, et elle n'y est pas admise en principe.

Il y a en effet des halles de transbordement, mais on n'y transborde que les wagons incomplétement chargés, pour tenir à compléter d'autres wagons pour les mêmes destinations. On ne transborde jamais les wagons complets : ainsi, les wagons chargés de vins du Midi viennent jusqu'à Paris en passant d'un réseau sur l'autre, par une simple transmission d'une Compagnie à l'autre. La question sera bien différente pour un petit chemin de fer qui serait dans l'obligation de transborder; suivant la nature de la marchandise, la manutention peut augmenter dans une grande proportion et être cause d'un préjudice comme conservation.

M. Richard dit que certaines marchandises subissent des détériorations par le fait du transbordement, ce qui doit encore le faire éviter.

M. Forquenot ajoute que les Compagnies de chemins de fer ayant entre elles des traités de location de matériel, cette disposition modifie encore la question de transmission des marchandises. Pour s'en rendre compte, il faut donc apprécier toutes les conditions spéciales qui peuvent se présenter.

M. le Président croit devoir ramener la question à la comparaison entre les chemins dits d'intérêt local et les voies ordinaires. Le transport par roulage des chemins de fer aux usines, ou réciproquement, implique un transbordement aussi bien que le transport par chemins à petite voie.

M. Molinos dit que pour les usines cela est rigoureusement vrai; il reconnait néanmoins que pour le public il y aura un transbordement de plus que par le roulage. Mais ce transbordement, étant habituel, se fera dans les meilleures conditions possibles, et d'ailleurs sera-t-il donc si difficile de faire disparaître cet inconvénient? Pourquoi n'emploierait-on pas des wagons à caisse mobile pouvant se placer sur des trucks qui les conduiraient à domicile, et dans ce cas la supériorité des petits chemins de fer sur la route serait un bénéfice net, et ils n'entraîneraient pas un transbordement de plus.

M. Nordling demande, si la question du transbordement paraît élucidée, qu'on rédige le programme dont a parlé M. Debauge.

M. Goschler propose d'en confier la rédaction à une commission.

M. Forquenot ne voit pas la nécessité de poser un programme pour l'étude des chemins de fer départementaux; la question diffère suivant chaque cas particulier qui peut se présenter, et c'est à ceux qui l'étudient à décider l'emploi de la petite voie ou de la large voie.

M. Nordling voudrait obtenir encore quelques explications sur des sujets de détail, sur les stations, la recette en route, etc.; car, pour avoir un résultat différent de tout ce qui s'est fait jusqu'à présent, on devra employer évidemment des moyens tout différents aussi.

M. Gandillot dit qu'en effet, pour lui, la question est de savoir si un chemin à petite voie peut servir avantageusement là où un chemin ordinaire n'est pas possible, et quelle est l'importance de l'économie réalisée.

M. le Président fait observer que cette question est résolue affirmativement par les exemples cités au commencement de la séance.

M. Nordling pense que les habitants se trompent étrangement en comptant sur de grands avantages par l'établissement de la grande voie, et ont tort d'y tant tenir; il croit qu'un chemin de 1 mètre peut rendre plus de services qu'un de 1m.50. Il regrette même la conclusion du rapport de M. Molinos, qui semble considérer les chemins à petite voie comme des expédients temporaires devant faire place un jour à la grande voie.

M. Nordling ne croit pas plus à une extension de trafic pour ces chemins qu'à l'absorption par les chemins vicinaux du trafic des routes impériales. Il entrevoit que certaines localités regretteront un jour d'avoir le chemin à grande voie, au lieu de celui à petite voie qui aurait pu leur rendre de plus grands services.

M. le Président pense que cela est incontestable et qu'il faut répandre et faire prévaloir cette opinion dans le public. La question reste à l'ordre du jour.

Séance du 1er Mai 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 17 avril est adopté.

M. de Mazade demande à présenter quelques observations sur le prix kilomé-

trique de la ligne de Vitré à Fougères, opposé à celui de 67,000 francs donné par M. Debauge.

M. de Mazade explique que la compagnie a été formée au capital de 2,500,000 fr. et n'a fait qu'un empunt de 400,000 francs, soit donc en total 2,900,000 francs, ce qui ferait ressortir la dépense kilométrique à 78,000 francs; mais ces 400,000 francs supplémentaires sont remboursables en quatorze annuités. De plus, la compagnie a eu un accident et certains frais d'exploitation qui sont compris dans cette dépense et qui ne devraient réellement pas figurer au compte de construction.

M. Richard répond qu'il tient le chiffre qu'il a donné de l'ingénieur même de cette compagnie.

M. le Président exprime l'avis que ces observations ne peuvent être admises comme une rectification au procès-verbal; elles trouveront mieux leur place avec les développements qu'elles comportent lors de la reprise de la discussion sur les chemins de fer d'intérêt local.

M. le Président annonce qu'il a reçu une lettre de M. Dallot qui désire faire disparaître une inexactitude ou plutôt une lacune dans sa communication du 3 avril.

La méthode qu'il a indiquée, d'après M. Bresse, pour tracer le plus simplement possible le contour-enveloppe des moments maximum, implique que l'on tienne compte de toutes les combinaisons de surcharges géométriquement réalisables.

Mais lorsqu'on veut soumettre le choix de ces combinaisons à une critique raisonnée, comme nous prétendons que tout ingénieur doit le faire, il ne faut ajouter ensemble, dans chaque cas, que les ordonnées de même ligne se rapportant à l'hypothèse considérée; et les divers contours-enveloppes, obtenus ainsi, contribuent tous, pour une portion de leur étendue, à la composition du contour-enveloppe des moments maximum.

Comme il n'y a jamais lieu de considérer plus de cinq travées consécutives, on voit qu'il peut être nécessaire de construire trois contours-enveloppes particuliers, tout au plus.

M. le Président fait part à la Société d'une lettre de M. Rouyer, qui regrette de n'avoir pas assisté à la séance du 3 avril dans laquelle il a été donné lecture d'une lettre de M. Coignet sur l'ensilage des blés. M. Rouyer fait observer que M. Coignet, dans son prix de revient de conservation et dans ses conclusions, n'a pas fait entrer divers frais que lui a fait intervenir dans les prix qu'il a communiqués à la Société dans la séance du 6 mars.

M. Rouyer rappelle que, d'après le témoignage de MM. Pourtalès et Demetz qui emploient industriellement le procédé Doyère, l'opération du séchage des blés est inutile en pratique *dans des vases sur l'herméticité desquels on peut compter avec certitude;* ainsi qu'il l'a démontré par l'échantillon, qu'il a soumis à l'examen des membres de la Société, qui provenait de blés contenant 17 pour 100 d'eau conservés depuis quatorze ans à Asnières.

Au point de vue commercial, cette opération de la dessiccation présente un inconvénient très-sérieux : sans doute le blé gagne en qualité; mais si, quand le blé est à 20 francs le quintal ou 15fr.40 l'hectolitre, on lui enlève 4 pour 100 d'eau en moyenne, cela augmente son prix qui devrait atteindre 20fr.85 le quintal ou 16fr.05 l'hectolitre pour rémunérer également le producteur. Or, le commerce ne lui tiendra pas compte de cette plus-value qui deviendra pour lui une perte sèche. Ce sera le boulanger qui

en profitera seul, attendu que le pain contient toujours la même quantité d'eau quel que soit le degré d'hygronométrie du blé.

Il est donc juste, au point de vue comparatif, d'ajouter cette perte aux autres frais qui grèvent la conservation et d'établir les prix de revient en ne prenant qu'un système comme terme de comparaison de la façon suivante :

	Procédé Doyère.		Procédé Coignet.	
Intérêt et entretien de l'appareil 10 pour 100.		$0^{f}.50$		$0^{f}.30$
Ventilation et foyer......................		0.10		0.10
Charbon..............................	$0^{f}.02$		$0^{f}.02$	
Main-d'œuvre	0.15		0.15	
Sulfure de carbone........................	0.05		0.00	
Réception et mise dans l'appareil...........	0.08		0.08	
Criblage à l'arrivée......................	0.08		0.08	
Tarrardage............................	0.15		0.15	
Pelletage..............................	0.05		0.00	
Déchet au nettoyeur	0.14		0.14	
Mise en sac et sortie....................	0.14		0.14	
Perte par dessiccation....................	0.00		0.65	
	0.86	+ 0.60	1.41	+ 0.40

Ces chiffres montrent que si dans le procédé Doyère la dépense totale est de $1^{fr}.46$, tandis qu'elle est de $1^{fr}.81$ dans le procédé Coignet, on arriverait pourtant à la même dépense après trois ans de conservation, puisque les frais *proportionnels* sont de $0^{fr}.20$ plus élevés avec le procédé Doyère qu'avec celui de M. Coignet. Mais il est juste de faire remarquer que le prix de construction des appareils Doyère est celui d'il y a dix ans, et que celui de M. Coignet est récent ; de plus, 10 pour 100 intérêt et entretien compris ne seraient pas suffisants pour des appareils en maçonnerie soumis à l'action du séchage.

M. Rouyer pense qu'au lieu de discuter sur des données théoriques, il serait à désirer que M. Coignet, dont le brevet remonte à 1855, présentât des résultats d'expériences pratiques qui ne peuvent manquer d'avoir été faites depuis ce temps. Il y aurait là les éléments d'une discussion plus fructueuse.

Quant au procédé de M. Haussmann père, M. Rouyer n'en a pas parlé, ignorant sa présence à l'Exposition, mais M. D'Hamelincourt a écrit à la Société pour demander que la discussion restât ouverte pour entretenir la Société de ce procédé.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante de M. Renaudot, ingénieur des ponts et chaussées :

« Dans la séance du 20 mars dernier, après lecture de la lettre que j'eus l'honneur de vous adresser, M. Molinos a annoncé l'existence d'une erreur matérielle dans les chiffres avancés par moi, relativement au pont d'Asnières.

« Je viens de recevoir le bulletin de la séance du 3 courant ; contre mon attente, nulle part, dans les nouvelles observations de l'ingénieur précité, je ne vois la justification de son assertion de la séance précédente.

« M. Molinos se borne, en effet, à dire que M. Albaret et moi nous prétendons à tort que le pont d'Asnières ait été construit en vue de résister à un moment de flexion maximum de $405,000^{km}$ sur la deuxième pile ; que cet ouvrage a été réellement calculé et établi de façon à fournir un moment de flexion de $470,000^{km}$ sur cette pile.

« En ce qui me concerne, en aucun point de mon Mémoire, non plus que dans ma lettre précitée, je n'ai prétendu que le pont d'Asnières n'ait pas été réellement établi de façon à pouvoir fournir sur les piles en question un moment de flexion de 470,000^{km}. Ce que j'ai dit, et ce que je maintiens comme absolument exact, c'est qu'il existe une différence relative de 25 p. 100 entre le moment fléchissant maximum donné par les tableaux de l'ouvrage de MM. Molinos et Pronnier, pour la deuxième pile du pont d'Asnières, — tableaux qui sont tout ce que je connais des calculs de cet ouvrage, — et le même moment maximum déduit des tables de mon Mémoire, c'est-à-dire résultant des hypothèses de surcharge qui attribuent réellement à ce moment sa plus grande valeur.

« Au sujet du *quantum* de cette différence relative, que je dis être de 25 p. 100, et que M. de Dion continue à évaluer à 32 p. 100, il convient de faire cesser une méprise manifeste.

« Si A est la valeur exacte, ou du moins supposée telle, d'une quantité, si B en est une valeur approchée, $\frac{A-B}{A}$ est, suivant la définition usuelle, l'erreur relative commise en prenant B aux lieu et place de A; or $\frac{A-B}{A}$, dans le cas dont il s'agit, c'est $\frac{532{,}000^{km}-405{,}000^{km}}{532{,}000^{km}}$, soit 0.239.

« J'ai donc eu raison de dire que l'erreur relative était voisine de 25 p. 100.

« Cela posé, que la section réellement donnée à l'ouvrage, au droit de la deuxième pile, soit capable d'un moment de 470,000^{km} et non de 405.000^{km}, que telle ou telle considération existe en outre, qui motive ou justifie l'écart entre ce chiffre de 470,000^{km} et le moment maximum réel; il n'a été nullement question de tout cela dans mon Mémoire. Pour tout lecteur de bonne foi, ce n'est évidemment pas la construction métallique en elle-même que j'ai voulu apprécier, mais seulement la méthode de calcul présentée par MM. Molinos et Pronnier dans leur ouvrage, comme ayant présidé à son établissement.

« Certes, en offrant aux lecteurs des *Annales*, sans nul esprit de critique à l'endroit de personne, les résultats de l'application de formules très-élémentaires au classique doyen de nos grands ponts métalliques, dont un ouvrage justement remarqué et apprécié me fournissait les calculs de résistance, j'étais loin de penser qu'ils pouvaient un jour soulever de pareilles tempêtes, et donner lieu, au nom de la science malencontreusement prétendue compromise, à des dissertations aussi passionnées.

« Je pensais à cette époque, — je continue à penser encore aujourd'hui, — qu'il devait être utile aux constructeurs, aux ingénieurs eux-mêmes, qui n'ont pas toujours les loisirs que M. Molinos veut bien leur prêter, d'avoir des formules toutes faites, des tables toutes calculées, qui, sans les priver de leur libre arbitre à l'endroit de telles considérations accessoires auxquelles ils jugeraient convenable de subordonner leurs calculs, leur donneraient une grande économie de temps, les résultats rigoureux, non point d'une nouvelle méthode pouvant donner lieu à critique, mais d'une méthode connue de tous dans ses principes, admise par tout le monde, de celle-là qui, sauf des divergences dans son application, a été appliquée au calcul de nos premiers grands ponts métalliques.

« Ingénieurs et constructeurs jugeront si, en effet, mon travail a pour eux l'utilité pratique que je lui ai attribuée. Ils apprécieront s'il n'est pas mille fois plus rationnel, ainsi que le fait remarquer avec beaucoup d'à-propos M. Albaret, d'user d'une

méthode invariable et sûre dans son mode d'opérer et dans ses résultats, et qui, en dehors de toutes considérations accessoires, n'a nullement les conséquences dommageables pour l'art des constructions qu'on veut lui attribuer, plutôt que de pratiquer la même méthode en définitive, mais d'une façon aussi arbitraire que mal définie.

« Si compliquer c'est en effet rétrograder, préciser et simplifier n'est-ce pas progresser ? »

M. le Président proteste contre le caractère que la lettre de M. Renaudot attribue à la discussion sur les ponts métalliques, à laquelle cet ingénieur n'a pas assisté et sur laquelle il a dû être fort mal renseigné. La discussion a été ce qu'elle devait et pouvait être. Elle n'a pas présenté de traces ni de passion, ni de tempête.

M. Molinos est surpris que M. Renaudot déclare avoir vainement cherché dans la communication qu'il a eu l'honneur de faire à la Société, dans la séance du 3 courant, la justification de l'assertion qu'il avait précédemment émise, concernant une erreur de calcul relevée par M. Renaudot, dans l'établissement du pont d'Asnières, qui aurait conduit à donner à ce pont, sur la deuxième pile, un moment de résistance trop faible de 1/5 environ.

Il croyait, au contraire, s'être très-nettement expliqué. Puisqu'il n'a pas su se faire comprendre, il demande la permission de reprendre brièvement la question.

M. Molinos ignore ce que M. Renaudot a dit dans son Mémoire, attendu qu'il ne l'a pas lu ; mais il ne pense pas qu'il y ait un seul membre de la Société qui, à la lecture de la lettre de cet ingénieur, n'ait compris que le pont d'Asnières offrait, sur la deuxième pile, un moment de résistance trop faible de 1/5.

La seule pièce qui fasse foi pour ce qui concerne le détail d'exécution du pont d'Asnières, c'est évidemment le moment de résistance des tôles, donné dans l'atlas de l'ouvrage de MM. Molinos et Pronnier. C'est là seulement qu'on peut voir ce qui a été exécuté. Or cette pièce démontre que le moment de résistance du pont d'Asnières n'est pas de 405,000^{km}, mais en réalité de 470,000^{km} environ sur la deuxième pile. Comme tout ce qui a trait au pont d'Asnières, ce chiffre n'a pas été choisi arbitrairement ; il résulte du maximum indiqué par le calcul des moments obtenus par l'hypothèse de deux travées consécutives seules chargées, réduit par des considérations qu'il a développées, et dont l'expérience a surabondamment démontré l'extrême justesse.

M. Molinos se croit donc parfaitement fondé à relever une accusation qui tombait à faux sur le pont d'Asnières, qu'on a eu tort par conséquent de mettre en cause.

Quant au tableau tiré de l'ouvrage, M. Molinos a nettement expliqué que le calcul n'a pas été donné complet ; il en a dit les motifs. D'ailleurs, MM. Molinos et Pronnier, dans leur ouvrage, se sont appliqués plutôt à décrire les méthodes de calcul qui peuvent servir à examiner toutes les hypothèses, qu'à prescrire une marche de calcul uniforme, invariable, applicable à tous les cas quels qu'ils soient, et qui, cette discussion le prouve, est très-éloignée de leur manière de voir.

Dans les autres exemples qu'ils ont cités, le pont de Langon, le pont de Britannia, les maximum des moments sur les piles sont déterminés par la considération des deux travées consécutives seules chargées. On leur reproche d'avoir dit, pour le cas particulier du pont d'Asnières, que cette considération conduisait à des résultats peu différents de celle de la charge uniformément répartie sur tout le pont. Pour la première pile, c'est indiscutablement vrai ; pour la seconde, c'est moins exact : mais encore ce n'est pas une erreur mathématique, c'est une question de mesure, et, sur

ce point, M. Molinos ne craint pas de dire le fond de son opinion. En effet, il lui eût paru tout à fait indifférent que le moment de résistance du pont d'Asnières eût été réduit en réalité à 405,000^{km}, et les épreuves de réception justifient cette opinion. Cela tient à la forme des poutres et au système général du pont. A ce sujet, dans l'ouvrage précité, MM. Molinos et Pronnier ont très-clairement fait ressortir les nombreuses lacunes de la théorie, qui peuvent se résumer en deux mots : à peu près complète en ce qui concerne les moments de flexion, elle laisse tout à fait dans l'ombre l'étude des moments de résistance. A l'aide de cette théorie, on peut calculer un pont pour supporter, par exemple, une surcharge de 4000^k par mètre, avec un coefficient de 5^k, et le pont pourrait ne pas pouvoir se supporter lui-même.

M. Molinos est donc, on le comprend, très-peu préoccupé qu'un pont travaille à 7^{ks} au lieu de 6. On peut voir aussi ce qu'il penserait d'un perfectionnement de la théorie qui aboutirait, sans toucher en rien aux lacunes qui la rendent incertaine, à modifier les chiffres de 4 à 5 p. 100.

Mais à ce propos, et du moment que tout le monde est d'accord sur la convenance de déterminer les moments maximum sur les piles par la considération de la surcharge répartie sur deux travées consécutives, qu'il déclare n'avoir jamais calculé un pont autrement, que la même opinion est formulée par M. de Dion et les autres ingénieurs qui ont pris part à cette discussion, pourquoi donc M. Renaudot persiste-t-il à relever une différence de 25 p. 100 avec ses tables? N'y a-t-il pas là, pour répéter ses propres expressions, une méprise manifeste?

Entre la méthode de calcul de M. Renaudot, ou, pour parler exactement, entre les hypothèses sur lesquelles il fonde ses calculs, car la théorie est absolument la même, et celles qui sont universellement employées, les résultats diffèrent, d'après M. Albaret lui-même, de 3.70 p. 100.

Et quelle est la valeur des hypothèses qui causent cette différence? C'est là que gît tout le débat, et M. Molinos n'a pas l'espoir de ramener M. Renaudot à son opinion, puisque leurs vues sont si divergentes sur une question qui est, à proprement parler, une définition.

M. Molinos considère qu'une hypothèse servant de base à un calcul de mécanique appliquée doit absolument être conforme aux faits. Les ingénieurs doivent toujours les choisir dans cet esprit. C'est ce qu'ils font lorsqu'ils n'admettent pas que des trains passant sur un pont de chemin de fer puissent produire des charges discontinues. Or, ces hypothèses-là, M. Renaudot les qualifie d'*arbitraires* et de *mal définies*. Il veut les remplacer par des hypothèses qui sont, de l'aveu même de M. Bresse qui le premier les a proposées, évidemment *irréalisables*. C'est à un pareil choix d'hypothèses que, suivant M. Molinos, convient parfaitement la qualification d'*arbitraire*, pour ne pas dire plus. La question étant ramenée à ces termes aussi simples que précis, il serait oiseux d'en prolonger la discussion, et M. Molinos la remet avec confiance au jugement de tous les bons esprits.

M. Albaret dit que, quant à lui, il ne pouvait prétendre que les sections des poutres du pont d'Asnières étaient trop faibles de 26.80 p. 100 sur les deux piles centrales, parce qu'il savait parfaitement le contraire, M. G. Tardieu le lui ayant fait remarquer.

Il a dit seulement que les calculs donnés par MM. Molinos et Pronnier, pour cet ouvrage, faisaient ressortir une différence de 26.80 p. 100 avec les résultats correspondant à l'hypothèse de la surcharge sur les deux travées adjacentes à ces appuis.

M. Lissignol donne ensuite communication de sa note sur le doublage en zinc des navires.

Avant l'emploi du cuivre, les navires en bois étaient doublés avec des planches resciées, convenablement enduites de goudron et souvent mailletées, c'est-à-dire couvertes de clous jointifs à large tête. Ce doublage primitif avait pour but de préserver la carène, tant bien que mal, contre les attaques des vers ou *tarets*. Mais les navires ainsi doublés se couvraient rapidement de végétations, de barnacles, et leur marche devenait fort lente au bout de quelques semaines.

L'invention du doublage en cuivre mit fort heureusement un terme à ces graves inconvénients, et contribua par suite à développer la marine, en abrégeant les traversées, en augmentant la longueur possible des campagnes, et en prolongeant la durée des navires. C'est en 1761, et sur la frégate anglaise *l'Alarm*, que fut posé le premier doublage en cuivre. Depuis l'usage en est devenu général sur les bâtiments en bois. Voici le prix de revient de quelques carénages de navires marchands, avec doublage en cuivre jaune :

Noms des navires.	Jauge légale.	Prix de la carène. Total.	(Vieux cuivre déduit). Par tonneau de jauge.
Dalembert...........	552 tx.	17,436 fr.	35f.07
Navire de Nantes....	487	17,221	35 .40
Richelieu...........	514	18,083	35 .18
Hampden..........	544	20,116	36 .97

Dépense moyenne de carénage, 35 à 36 francs par tonneau de jauge.

La durée des doublages en cuivre est restreinte. Tandis que les doublages en cuivre rouge, employés par la marine militaire, durent cinq à six ans, les doublages plus minces et en cuivre jaune de la marine marchande ne durent guère que trois à quatre ans, et même deux ans au plus lorsque les navires font un séjour dans les mers chaudes, la mer des Indes, par exemple.

Le cuivre se dissout dans l'eau de mer, et c'est par suite de cette dissolution même qu'il ne se couvre pas de végétations. A mesure qu'un germe de plante ou de mollusque se dépose à la surface du doublage, la pellicule sur laquelle ce germe était déposé est désagrégée par l'effet de la dissolution, et le germe détaché est emporté par le courant d'eau. L'exactitude de cette explication est d'autant plus fondée, que le cuivre des doublages se couvre rapidement d'incrustations énormes, aussi rapidement que le fer et le bois, dès que l'on empêche sa dissolution. On se rappelle en effet l'histoire des *préservateurs de Davy*. Cet illustre physicien avait reconnu que lorsque deux métaux en contact étaient plongés dans l'eau de mer, il se développait un courant électrique; que le métal électro-négatif par rapport à l'autre était oxydé avec énergie, tandis que le métal électro-positif était, au contraire, préservé. Davy imagina donc, pour empêcher la dissolution des doublages en cuivre, d'appliquer sous la quille des navires des lingots de fonte, métal électro-négatif par rapport au cuivre. Le procédé réussit, les préservateurs en fonte furent rapidement oxydés, tandis que le cuivre cessa de se dissoudre, mais aussi se couvrit en peu de semaines de végétations et de barnacles.

Cet inconvénient, très-grave pour la marche et le trafic de la marine marchande contraignit les Anglais à abandonner absolument les *préservateurs* de Davy, et à accepter la dissolution des doublages en cuivre comme une inévitable nécessité.

Les navires cuirassés de la marine militaire française fournissent un exemple analogue. Ces navires sont malheureusement en bois, sauf quelques rares exceptions

ils sont donc doublés en cuivre ; mais comme leur cuirasse en fer plonge nécessairement de 2 mètres au moins sous la flottaison, cette cuirasse agit comme un préservateur de Davy. Le cuivre ne se dissout plus ; ce métal se recouvre de conferves et de mollusques avec une rapidité extraordinaire, tandis que les plaques en fer de la cuirasse sont perforées et mises hors de service par l'oxydation, dans un temps extrêmement court.

La dépense considérable qu'entraîne le doublage en cuivre pour les navires en bois a préoccupé à juste titre le commerce et les inventeurs. On a donc cherché, de tout temps, à remplacer le cuivre par un métal d'un prix moins élevé. C'est dans ce but qu'on a essayé les doublages en zinc. Mais le zinc, exposé sur une carène en bois à l'action de l'eau de mer, forme des composés insolubles qui restent adhérents à sa surface. Dès lors les conditions indispensables pour empêcher les incrustations n'existent pas. Aussi les végétations de toute espèce se développent sans entrave sur les carènes en bois doublées en zinc, et acquièrent en très-peu de temps un développement qui défie toute comparaison. Ce doublage a dû être abandonné.

Tel était l'état de la question au moment où les progrès de la métallurgie ont conduit à la construction des navires en fer.

Le fer métallique, décapé ou poli, immergé d'une manière permanente dans l'eau de mer pure, ne s'altère que très-lentement, si les fonds sur lesquels il repose ne sont pas mélangés de matières organiques. Mais aussitôt que le fer mouillé est sorti de l'eau, il se rouille rapidement sous l'influence de l'air atmosphérique et de la chaleur solaire. Une machine de 120 chevaux qui était restée immergée dans le Sund par 12 à 15 mètres de fonds, et pendant trois mois, a été retirée par nous presque intacte. Les pièces de fer avaient conservé leur poli primitif. Contrairement même à toutes les prévisions, les portées des arbres dans les coussinets en cuivre des paliers étaient également dans leur état normal, soit que l'huile de graissage ait suffi à isoler les deux métaux, soit que la masse du cuivre fût trop petite par rapport à celle du fer, pour que le courant capable d'oxyder ce métal ait pu se produire.

Les carènes des navires en fer, qui subissent des alternatives d'immersion et d'émersion par suite du chargement et du déchargement, qui séjournent dans les eaux des ports et des rades chargées de matières organiques, sont au contraire exposées à une oxydation rapide. Cette oxydation, ayant pour résultat de former un composé insoluble et d'augmenter la rugosité de la surface des tôles, favorise à un haut degré le développement des incrustations et des herbes marines. Ce fait et l'observation incomplète des phénomènes présentés par les doublages en cuivre, qui restent au contraire décapés et lisses, ont fait penser que les végétations seraient empêchées si l'on parvenait à prévenir l'oxydation du fer. De cette conclusion inexacte dérive la totalité des procédés de carénage employés jusqu'à ce jour pour les navires en fer, procédés qui se divisent en deux classes :

1° Ceux qui ont pour but de recouvrir le fer d'un enduit plus ou moins inaltérable, pour empêcher son contact avec l'eau de mer ;

2° Ceux qui ont recours à des moyens électro-chimiques pour maintenir le fer décapé et qui n'emploient aucun enduit.

La peinture au minium a été le premier enduit employé pour les carènes des navires en fer. Mais on n'a pas tardé à s'apercevoir que le minium devait être renouvelé souvent et ne prévenait même pas les végétations lorsqu'il restait intact. On a donc proposé un grand nombre de peintures soit-disant inaltérables ou au moins de beaucoup plus longue durée. Mais l'efficacité de chacun de ces divers enduits a été très-

variable, suivant les circonstances du travail et le soin apporté à l'application. D'ailleurs, toutes ces peintures sont exclusivement composées d'huile végétale, de céruse et de minium. Elles ne diffèrent que par l'addition variable, suivant les recettes, d'une petite quantité de sels minéraux supposés toxiques pour les mollusques et les végétaux que le hasard ou la fantaisie amènerait à se fixer sur la carène du navire.

Quel que soit l'enduit employé, les phénomènes d'altérations sont les mêmes. Dès que la peinture commence à s'altérer, elle se boursoufle et présente une multitude de petites cloches ayant l'apparence d'une éruption cutanée qui se serait développée sur la carène du navire. Si l'on enlève ces cloches, on trouve leur paroi intérieure tapissée d'une sorte de limaille métallique que M. Becquerel dit être des cristaux de plomb. Au-dessous des cloches, le fer est devenu noir et présente de petites écailles à cassure semi-métalliques, tout à fait analogues aux battitures de forge. Il semblerait que le fer ait été oxydé aux dépens de la céruse ou du minium de la peinture, tandis que le plomb, base de ces deux composés, aurait été ramené à l'état métallique.

Si ces cloches ont pris un développement suffisant, leur pellicule est emportée par la mer ; le fer oxydé noir se trouve alors au contact de l'eau et se transforme en sesquioxyde jaune hydraté. L'oxydation, une fois commencée, se répand et marche avec une rapidité toujours croissante.

On trouve très-souvent sur les carènes les plus attaquées par l'oxydation des parties intactes sur lesquelles la peinture adhère très-fortement. Il paraît donc que la destruction de la peinture doit être attribuée à une action chimique qui se développerait par suite du contact de l'eau de mer avec les tôles et l'enduit. Sans doute des fissures capillaires suffisent pour établir entre le fer et l'eau la communication qui détermine le phénomène.

Quel que soit le soin apporté à l'application des peintures au minium, leur durée est toujours réduite. Dans les mers de nos climats, il faut gratter les tôles et remettre de la peinture neuve après dix ou douze mois. Lorsque le navire fréquente des mers plus chaudes, la peinture doit être renouvelée tous les huit mois au moins.

Le prix des carénages de navires en fer est donné par l'exemple suivant relatif à un navire de 790 tonneaux de jauge légale.

Frais de dock			2488f .50
Main-d'œuvre.	Grattage	672f .00	822 .00
	Peinture	150 .00	
Fournitures	Peinture	349 .70	649 .70
	Diverses	300 .00	
			3960f .20 soit 4000 fr.

C'est 5 fr. 07 c. par tonneau de jauge. Pour des navires de plus en plus petits, les frais par tonneau augmentent en raison inverse de la diminution du tonnage, et peuvent atteindre jusqu'à 6 fr. par tonneau.

Les procédés qui avaient pour objet de maintenir le fer décapé sans le peindre, n'ont jamais été appliqués d'une manière constante. Tous ces procédés consistaient à appliquer quelque part sur la carène, sous la quille, par exemple, des masses d'un métal électro-négatif par rapport au fer, lesquelles agissaient comme les préservateurs de Davy, et empêchaient le fer de se rouiller, en s'oxydant elles-mêmes avec énergie.

Les divers moyens proposés pour empêcher les carènes en fer de se couvrir de

végétations, sont tous imparfaits. Les enduits et les préservateurs réalisent, d'une manière plus ou moins heureuse, le but qu'on s'était proposé, celui d'empêcher le fer de se rouiller ; mais ils ont toujours l'inconvénient rédhibitoire de laisser à la carène une surface composée de matières insolubles, du fer métallique ou de la peinture. Dès lors les germes de mollusques et de végétaux qui se déposent sur le navire, y adhèrent par une base permanente et se développent en paix, malgré tous les poisons répandus à leur adresse dans les peintures.

Pour qu'un procédé de doublage empêche les végétations de toute nature, il est indispensable que la matière employée à doubler la carène, se dissolve peu à peu dans l'eau de mer. La surface du doublage est alors incessamment renouvelée. Lorsqu'un animalcule ou la graine d'une plante marine vient se poser sur cette surface et s'y attacher, la dissolution continue son œuvre; avant que l'animal ou la plante aient pris un développement suffisant, leur point d'adhérence est littéralement décollé, et le courant d'eau emporte ces végétations naissantes.

Deux procédés de doublage ont été proposés pour les navires en fer, et réalisent l'un et l'autre la condition de dissolution : 1° le doublage en cuivre de M. Roux; 2° le doublage en zinc de M. Daft.

Le doublage en cuivre de M. Roux est posé sur un lit de mastic isolant qui recouvre le fer, et sur une feuille de plomb mince qui recouvre le mastic. Le cuivre ainsi isolé du fer se comporte comme sur les carènes en bois et se dissout de lui-même dans l'eau de mer.

Le doublage Roux a été appliqué avec succès sur la partie des cuirasses qui plonge dans l'eau (marine militaire française). L'érosion de ces cuirasses a été arrêtée par ce moyen.

Ce succès a engagé M. Roux et la Compagnie qu'il a formée pour l'exploitation de son système, à préconiser le système de doublage en cuivre pour les navires en fer.

Mais, outre l'inconvénient de la dépense énorme qu'un semblable doublage doit entraîner, il nous paraît dangereux d'appliquer un doublage en cuivre sur un navire en fer. Tant que l'herméticité du mastic interposé entre les deux métaux reste complète, le doublage en cuivre fonctionnera à la satisfaction de tous les intéressés. Mais si une fissure même capillaire se produit dans le mastic isolant par suite des mouvements du navire, par suite d'un choc imprévu sur un corps extérieur, etc., etc., à l'instant, cette fissure remplie d'eau par la capillarité suffira pour établir le circuit galvanique. Nous aurons alors une pile fer et cuivre de plusieurs centaines de mètres carrés, qui développera des courants extrêmement intenses, et le fer électro-négatif par rapport au cuivre sera dévoré avec une rapidité telle que les plus graves dangers peuvent en résulter dans un petit nombre de jours.

On peut, à ce sujet, citer un exemple remarquable, celui du *Sacramento*, ancien navire à vapeur à coque de fer, qu'un négociant avait transformé, il y a peu d'années, en navire à voiles. Désirant y appliquer un doublage en cuivre, on avait recouvert sa carène d'un soufflage en bois de 6 à 7 centimètres d'épaisseur. Ce soufflage était soigneusement calfaté; il était fixé par des boulons en bois et avait été recouvert d'un enduit isolant. Pendant quelque temps, le *Sacramento* navigua sans encombre. Mais dans un voyage de France à Rio, le bois du soufflage s'étant mouillé, ou une fissure s'étant établie dans ce soufflage, le circuit galvanique fut immédiatement complété, et le *Sacramento* arriva au port de destination, coulant bas d'eau. Au déchargement, on s'aperçut que la tôle de la carène avait été détruite et perforée sur plusieurs points, et que le soufflage en bois avait seul empêché la submersion

totale du navire en arrêtant l'affluence de l'eau aux endroits où la tôle de carène n'existait plus.

On conçoit donc l'application du doublage en cuivre Roux sur les cuirasses des bâtiments de guerre en bois. Si une fissure se produit dans le mastic isolant, et que la cuirasse soit rongée, la coque en bois reste étanche, et le mal n'est point dangereux. Mais ce doublage n'est pas admissible sur les coques en fer.

La Compagnie Roux offre au public d'établir son doublage en cuivre pour 80 fr. le mètre carré et attribue une durée de douze ans à ce doublage. Le cuivre qu'elle emploie ayant 1 millimètre d'épaisseur, exactement la même épaisseur que les doublages en cuivre des navires de l'État, il n'y a pas de raison pour admettre une durée plus longue que celle constatée pour ce dernier, soit cinq ou six ans, sept ans au grand maximum.

Le doublage en zinc, proposé par M. Daft, satisfait à toutes les conditions théoriques. Lorsqu'un couple zinc et fer est plongé dans l'eau salée, il s'établit un courant énergique ; le zinc, métal électro-négatif du couple, devient le pôle positif et s'oxyde rapidement, tandis que le fer, formant le pôle négatif, reste décapé. En outre, les produits de l'oxydation du zinc étant des chlorures et des sulfates solubles, le zinc se dissout dans l'eau sous l'influence du courant galvanique et réalise ainsi la condition que nous avons démontrée indispensable pour empêcher les incrustations.

Une des plus précieuses qualités du doublage en zinc, c'est qu'il n'a pas besoin d'être étanche, et qu'il importe au contraire que le fer de la carène soit en contact avec l'eau de mer pour que le courant puisse être établi. L'existence de ce courant est la condition nécessaire de l'efficacité du doublage, de la dissolution du zinc et du décapage permanent des tôles.

Le mode d'action du doublage en zinc supprime donc la nécessité des enduits isolants absolument étanches, indispensables avec le doublage en cuivre. C'est une simplification considérable pour l'exécution, laquelle se réduit dès lors à l'emploi d'un moyen suffisant pour retenir les feuilles de zinc sur la carène.

M. Lissignol décrit ensuite les divers moyens proposés pour fixer le doublage en zinc. Il évalue comme suit le prix de ce doublage par mètre carré et en fait ressortir la simplicité :

Prix de pose du mètre carré de doublage en zinc.

Main-d'œuvre.	Perçage de 45 trous (diamètre, 5 millim.; profondeur. 4 millim.) à 7 fr. le cent.	3f.15	3f.75
	Main-d'œuvre de pose du zinc.	0 .60	
Matières.	1 mètre carré de zinc, (épaisseur, 1 millim.) pesant 7 kilogr., à 80 fr. les 100 kilogr.	5 .60	6 .46
	45 rivets en zinc, au maximum à 8 centimes pièce..	86	

Un fil de zinc de 5 millimètres de diamètre pèse $0^{kil}.37$ et donne 90 rivets. Il y a donc 650 à 660 rivets au kilogramme. En admettant même le prix de 5 francs pour 1 kilogramme de rivets façonnés, on arrive à $\frac{5^f}{650} = 0^f.08$ par rivet. Les clous ne coûtent que 110 fr. les 100 kilogrammes.

Frais généraux.	50 0/0 de la main-d'œuvre.	1 .85	2 .75
	15 0/0 des matières.	0 .90	
Bénéfice et droits de brevet.			2 .04
Prix total de pose du mètre carré de zinc.			15f.00

Dépense de carénage pour un navire en fer de 800 tonneaux.

Surface de carène : 621 mètres carrés.

Frais de dock	1,600 fr.
621 mètres de doublage en zinc à 15 fr. le mètre	9,315
Location d'outils et d'échafaudage	285
Prix du premier carénage	11,200 fr.

Soit 22f.40 par tonneau de jauge.

A déduire pour le zinc, en admettant qu'après cinq ans il reste environ 1/3 du poids primitif du métal, soit 560

$$\frac{621 \times 7}{3} = \frac{4347}{3} = 1{,}400 \text{ kilogrammes à } 0^f.4.$$

Prix d'un carénage suivant .... 10,640 fr.

Soit 21f.28 par tonneau de jauge.

M. Daft a fait l'essai du doublage en zinc sur de grands panneaux en tôle, qui ont été immergés pendant dix-huit mois dans la rade de Portsmouth. Ces panneaux, retirés en présence d'une commission de l'Amirauté anglaise, ont été trouvés parfaitement exempts de barnacles et de végétations, malgré ce séjour prolongé dans une eau vaseuse. Aussi l'Amirauté anglaise a-t-elle décidé l'application du doublage en zinc sur plusieurs navires en fer de la marine britannique.

D'après l'usure constatée pour le zinc dans les essais qui précèdent, on peut admettre qu'un doublage en zinc de 1 millimètre d'épaisseur durera cinq ans au moins. C'est la durée des doublages en cuivre de même épaisseur. Il en résulte que pour un navire de 500 tonneaux, le doublage en zinc représente une dépense annuelle de 4 fr. 26 c. environ par tonneau de jauge.

M. Lissignol soumet ensuite à l'assemblée le tableau comparatif suivant :

Comparaison des dépenses de carénage avec les différentes sortes de doublage, déduction faite des vieilles matières.

DÉSIGNATIONS.	NAVIRES DE 500 TONNEAUX DE JAUGE LÉGALE.			
	NAVIRES EN BOIS. DOUBLAGE en cuivre.	NAVIRES EN FER. PEINTURE ordinaire.	DOUBLAGE en cuivre SYSTÈME ROUX.	DOUBLAGE en zinc SYSTÈME DOFT.
Dépense totale pour une carène.	18,000f.00	2,700f.00	44,000f.00	10,640f.00
Dépense par mètre carré	29 .03	4 .35	73 .70	17 .13
Dépense par tonneau de jauge	36 .00	5 .40	88 .00	21 .18
Durée de la carène	4 ans.	9 mois.	7 ans (maxim.)	5 ans.
Dépense de carénage par année. totale	4,500 fr.	3,400f.00	6,286f.00	2,128f.00
Dépense de carénage par année. par tonne de jauge.	9 fr.	7 .20	12 .57	4 .26
La première carène pour laquelle il n'y a pas de vieilles matières à vendre coûterait	24,500 fr.	2,700 fr.	50,000 fr.	11,200 fr.

Il ressort de ce tableau un fait important. Avec le doublage en zinc, un navire en fer dépensera annuellement 4 fr. 26 cent. par tonneau de jauge pour ses carénages, soit 3 francs de moins qu'avec les anciens enduits au minium; en outre, le navire en fer doublé en zinc dépensera moitié moins que les navires en bois pour lesquels les carénages coûtent 9 francs par année et par tonneau.

Pour compléter l'énumération des avantages du doublage en zinc, M. Lissignol met sous les yeux de l'assemblée le tableau suivant, donnant la comparaison des dépenses d'exploitation pour deux navires de 500 tonneaux, l'un en bois, l'autre en fer, dont la carène serait entretenue au minium suivant les errements actuels.

Comparaison des dépenses d'exploitation par tonneau de jauge.

			Navire en bois.		Navire en fer.	
Dépenses à l'année.	Frais relatifs aux capitaux.	Amortissement simple. Intérêt. Assurances.	96f 00	207 fr.	80f 00	156f 90
	Personnel et nourriture		48 00		42 50	
	Entretien ordinaire		24 00		14 20	
	Carènes		9 00		7 20	
	Grosses réparations		19 00		2 00	
	Divers		11 00		11 00	
Dépenses à la traversée 1 fr. 50 à 2 fr. 50 par tonneau de jauge, admettons une moyenne de 2 fr.				2		2
Dépenses par tonneau embarqué et dépenses proportionnelles au fret.	Courtages. Chapeau. Consignations.			environ 10 0/0 du fret.		10 0/0 du fret.

Dans les navires à voiles en bois bien faits, chaque tonneau de jauge correspond à un port de 1,300 à 1,400 kilog., et à un volume de cale de 1.5 tonneaux d'encombrement de $1^{m3}44$.

Dans les navires en fer à voiles le tonneau de jauge correspond à un port de 1,500 kilog. environ et à un volume de cale de 1.75 tonneaux d'encombrement de $1^{m3}44$.

D'un autre côté presque tous les navires sont obligés de faire en moyenne une traversée sur lest sur trois traversées.

En admetttant donc que les navires à voiles portent en poids et à chaque traversée un nombre de tonneaux de 1,000 kilog. égal à leur tonnage légal, on fera une espèce de moyenne assez rapprochée de la vérité, aussi rapprochée qu'il est possible de l'avoir pour établir des prix moyens de la tonne kilomètre.

D'après ces données, et en partant du tableau qui précède, on arrive au tableau suivant qui donne les prix possibles du transport pour deux catégories de voyages très-distinctes.

DÉSIGNATIONS.	TRAVERSÉES de 9000 milles marins ou 16659 kilomètres. Durée de la traversée 90 jours. 3 traversées par an.		TRAVERSÉES de 3000 milles marins ou 5553 kilomètres. Durée de la traversée 30 jours. 6 traversées par an.	
	Nav. en bois.	Nav. en fer.	Nav. en bois.	Nav. en fer.
Dépenses à l'année	69f. } 71f.	52f.24 } 54f.24	34f.50 } 36f.50	26f.12 } 28f.12
Dépenses à la traversée	2	2	2	2
Dépenses proportionnelles au fret, 10 p. 100 du fret.	8.875	6.78	4.5625	3.515
Bénéfice 10 p. 100 du fret	8.875	6.78	4.5625.	3.515
Prix de la tonne de jauge	88.750	67.80	45.6250	35.150
Prix de la tonne kilomètre.	0.00533	0.00409	0.00822	0.00633

Les chiffres précédents, établis d'après les moyennes de dépenses d'exploitation d'un grand nombre de navires, indiquent que le prix de revient du transport sur

les navires en fer est de 25 à 30 pour 100 inférieur au prix correspondant par navires en bois.

On voit que la grosse dépense, celle qui influe le plus sur le prix de revient du fret, est la *dépense à l'année*. Cette dépense varie fort peu, que le navire voyage ou reste immobile. Ce n'est donc qu'en augmentant autant que possible le nombre des voyages faits annuellement, qu'on peut parvenir à ramener au minimum la portion des frais précédents incombant à chaque tonneau. Telle est la raison qui oblige les armateurs à employer tous les moyens en leur pouvoir pour réduire la durée des voyages et surtout le séjour des navires dans les ports.

Les navires en fer exigeant un passage très-fréquent au dock, sous peine de perdre beaucoup de leur marche, les armateurs français se sont exagéré les inconvénients qui peuvent en résulter, et il faut dire que leurs craintes étaient fondées jusqu'à un certain point, car nos ports manquent complétement de bassins à sec ou n'en ont qu'en nombre insuffisant.

Il arriverait souvent en effet, par suite de cette pénurie, que les navires en fer ayant besoin d'un carénage, devraient attendre leur tour pour entrer au bassin, et que cette attente pourrait faire manquer un chargement ou une saison favorable à certains voyages. Toutes ces difficultés se traduiraient par une élévation du prix moyen du transport, et pourraient faire disparaître les avantages économiques des navires en fer.

Avec le doublage en zinc toutes ces difficultés disparaissent. Le navire en fer doublé en zinc ne passera au bassin qu'une fois tous les cinq ans, et perdra moins de temps encore, pour ses carénages, que le navire actuel en bois doublé en cuivre. Sa dépense annuelle pour les carénages sera inférieure à celle des navires en fer actuels.

Ainsi, en adoptant le navire en fer doublé en zinc, le commerce français trouvera un véhicule qui réunira tous les avantages du navire en bois et tous ceux de coques métalliques, infiniment plus solides. Les chômages forcés seront réduits dans une proportion considérable, et il ne dépendra plus que de l'habileté commerciale de l'armateur d'obtenir le maximum de travail de son navire, et de réaliser une économie de 25 à 30 pour 100 sur le prix de revient des transports.

Un semblable résultat doit conduire à des modifications considérables dans l'état actuel de notre marine marchande. En tout cas, nous pourrons, par ce moyen, lutter avantageusement contre les concurrents qui s'obstineront dans l'ancien matériel en bois. Avec la situation géographique de la France, il suffit de quelques années de supériorité ainsi acquise, pour amener dans notre pays beaucoup de marchés dont les Anglais sont restés jusqu'ici les possesseurs exclusifs.

Les conséquences politiques et commerciales d'une semblable réforme peuvent être incalculables.

M. E. Flachat fait observer que dans la Compagnie transatlantique chaque bâtiment fait une carène tous les quatre voyages et que cela coûte 12 à 15,000 francs parce que l'on est obligé d'aller à Lorient ou à Rochefort pour trouver un bassin de carénage.

M. le Président remercie M. Lissignol de son intéressante communication et espère qu'il voudra bien en faire l'objet d'une notice très-complète qui pourra être insérée dans le bulletin trimestriel.

M. Nordling donne ensuite communication d'une notice sur les chemins de fer

d'intérêt local. Cette note est insérée *in extenso* dans le bulletin du premier trimestre, page 165, à la suite de celles de M. Richard, de MM. Molinos et Pronnier, et de M. Henry Mathieu.

MM. Garnier, Leloup, Prou et Sergejeff ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 15 Mai 1868.

Présidence de M. LOVE.

Le procès-verbal de la séance du 1er mai est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Orsatti, membre de la Société, a été nommé chevalier de l'Ordre de Léopold de Belgique.

M. GOTTSCHALK remet une note sur le service de traction des chemins de fer du sud de l'Autriche, et en particulier sur l'exploitation du Semmering et du Brenner en 1867. Cette note est renvoyée à M. Desgrange pour en rendre compte dans une prochaine séance.

L'ordre du jour appelle la continuation de la discussion sur les chemins de fer d'intérêt local.

M. GOSCHLER dépose sur le bureau une Note extraite du 1er volume de son ouvrage qui a trait au sujet dont la Société s'occupe en ce moment.

Dans cette Note, M. Goschler s'occupe particulièrement de l'étude du matériel roulant à employer pour des voies variant de $0^m.60$ à 1 mètre de largeur.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Goschler de ce document, qui restera à la disposition des membres de la Société qui voudront le consulter.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre de M. J. J. Meyer dans laquelle cet ingénieur fait remarquer que, dans son intéressante Note sur les chemins de fer d'intérêt local, M. Henri Mathieu exprime l'opinion que des locomotives à deux essieux couplés, écartés de $2^m.50$, et du poids de 16 tonnes en tout, pourront remorquer 50 tonnes ou 4 à 5 wagons, sur rampes de 4 centimètres et dans des courbes de 80 à 90 mètres de rayon.

Quel est donc l'effort de traction nécessaire à un tel train dans ces conditions?

La résistance des wagons ne peut guère être estimée, dans des courbes de 80 mètres, à moins de 6 kilog. : ci $6 \times 50 =$ . . . . 300 kil.

Gravité en rampe de 40 millimètres : $40 \times 50 =$ 2,000

Résistance de la machine sur niveau, à raison de 10 kilog. par tonne: $16 \times 10 =$ 160

Gravité de la machine : $16 \times 40 =$ 640

Résistance totale. 3,100

En admettant qu'une *petite* machine comme celle en question puisse exercer un

effort soutenu du sixième de son poids maximum de 16 ton., l'effort possible ne serait encore que de 2,666 kilog., tout à fait insuffisant par conséquent.

D'ailleurs, quelle peut être la surface de chauffe d'une machine de 16 tonnes avec ses approvisionnements, et supportée par deux essieux écartés de $2^m.50$?

30 à 35 mètres au grand maximum.

Si cette machine pouvait exercer un effort du sixième de son poids, à la vitesse minima de 12 kilomètres, son travail serait donc de $\frac{2666^k \times 3^m.33}{75} = 118$ chevaux; c'est-à-dire de 3 chevaux, 34 par mètre carré de chauffe; autant et plus que dans les grosses machines mixtes.

Une telle utilisation n'est pas possible avec de petites machines et à faible vitesse.

De plus, les locomotives de petit modèle sont plus lourdes par force de cheval et par unité de surface de chauffe; et, si l'on ne peut compter dans ces dernières que sur un effort d'*un septième* de leur poids adhérent et *permanent*, à plus forte raison faut-il renoncer à espérer que les premiers donneront un effort d'un *sixième* de leur poids maximum.

Ainsi, par exemple :

Les locomotives du chemin de fer de Mondalazac (voie de $1^m,10$), à quatre roues couplées, pèsent, en service, 12,000 kilgs avec 24 mètres de surface de chauffe. Leur effort de traction, compté au septième, devrait être de plus de 1,700 kilgs; or, d'après l'expérience, il n'est pas et ne peut être de plus de 1,000 kilgs environ, ou du *douzième* seulement du poids adhérent, bien que les cylindres aient des dimensions correspondant à un effort supérieur.

On ne doit même pas supposer, disent MM. Thirion et Bertera dans leurs *Observations sur le projet de loi des chemins de fer départementaux*, que cette force de 1,000 kilgs soit constamment disponible.

En effet, cet effort suppose $\frac{1000}{24} = 41$ kilgs par mètre carré de chauffe, tandis que les grosses machines en service régulier ne donnent que 30 kilgs environ. En admettant que, *par extraordinaire*, les machines supposées par M. Mathieu puissent donner 45 kilgs par mètre carré de chauffe, leur effort ne serait encore que de $45 \times 35 = 1,575$ kilgs. Elles seraient donc de moitié trop faibles. Il faudrait doubler *au moins* le nombre des trains et le personnel pour un même trafic.

M. J.-J. Meyer ajoute qu'il serait inutile de réduire la vitesse pour augmenter la charge remorquée; car, au-dessus du minimum de 12 kilgs, qui a été admis, on sait que la résistance du train ne décroît plus ou bien peu, tandis que la vaporisation décroîtrait, elle, dans une proportion plus forte que la vitesse.

En résumé, M. J.-J. Meyer pense que les locomotives de petit modèle, assez légères pour des rails et une voie de petit calibre, assez courtes d'empatement pour circuler habituellement dans des courbes de petit rayon, ne peuvent avoir qu'une faible puissance, limitée par la surface de chauffe bien avant que par l'adhérence, et trop souvent insuffisante pour permettre l'adoption *économique* de rampes fortes; c'est-à-dire qu'elles ne répondent que bien rarement aux conditions de l'*établissement* et de l'*exploitation* à bon marché des chemins de faible trafic;

Que, par conséquent, un système de locomotives, réunissant à la légèreté et à la flexibilité des petites machines une puissance double et triple, aura une utilité très considérable.

M. J.-J. Meyer termine en disant que M. Richard ayant bien voulu parler dans sa Notice de son système de locomotive-tender articulée en vue de l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local, il fait part à la Société que M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées, lui a commandé une machine d'essai de son système, qui se construit avec son concours dans les ateliers de J.-F. Cail et Cie de Fives-Lille, Parent, Schaken, Houel et Caillet.

Cette locomotive, dont la construction est très-avancée, sera achevée dans quelques mois et mise à la disposition des compagnies pour être essayée.

M. Mathieu répond que M. Meyer a réuni ensemble deux conditions de profil qui, dans la Note citée, sont séparées : d'une part, le passage dans des courbes de 80 à 90 mètres de rayon, et de l'autre, la traction sur des rampes de 40 millimètres.

Si la rampe de 40 millimètres se rencontre avec une courbe de 90 mètres, il n'est pas douteux que la locomotive ne pourra pas remorquer 50 tonnes.

Mais en ligne droite, ou dans les courbes de grand rayon, une locomotive de 16 tonnes avec une adhérence au sixième équilibrant un effort de traction de 2,666 kilgs peut traîner 50 tonnes brutes. Quant à la résistance dans des courbes de 80 à 90 mètres de rayon, il ne connaît aucune expérience qui donne des indications précises : mais, sur faibles rampes, la même locomotive de 15 tonnes sera bien capable de traîner 4 à 5 wagons.

M. le Président donne la parole à M. Ivan Flachat.

M. Ivan Flachat dit qu'il a été invité par M. le Président à donner à la Société quelques renseignements sur le chemin de fer à voie étroite établi entre Commentry et le canal du Berri, au point de vue de la comparaison entre la voie large et la voie étroite. Le peu de temps qu'il a eu pour se mettre en mesure de répondre au programme de M. le Président ne lui permettra pas d'être complet; mais il se fera un devoir de fournir, dans les séances suivantes, les éclaircissements qui paraîtraient nécessaires.

Le chemin de Commentry au canal du Berry a été projeté dans le but essentiel de mettre en communication les houillères de Commentry avec leur voie naturelle d'écoulement, le canal du Berry, dont l'origine est à Montluçon. Une première étude avait démontré que le canal du Berry ne pouvait avoir son origine à Commentry même à cause de la grande altitude de cette localité, située à 175 mètres environ au-dessus du niveau du Cher à Montluçon, du grand nombre d'écluses nécessaires et de la difficulté de les alimenter. Restait donc, pour y suppléer, la ressource des rails, et on pouvait effectuer cette jonction soit avec une inclinaison continue de 15 millimètres par mètre environ, en côtoyant les bords d'un cours d'eau, soit en rachetant la différence de niveau par deux plans inclinés, et en suivant ensuite les plateaux jusqu'aux houillères. On avait le choix le plus libre entre tous les systèmes possibles : aucun chemin de fer n'était, à cette époque, projeté dans cette partie du centre de la France, et le raccordement avec le réseau général ne pouvait être en question. L'examen des avant-projets donna immédiatement l'avantage au tracé par les plateaux; les bords du cours d'eau sont très-escarpés, et le prix de l'assiette du chemin eût été plus coûteux; en outre, le principal trafic se faisant dans le sens de la descente, les plans inclinés fournissaient un moyen économique de faire remonter les wagons vides par le poids des wagons pleins, jusqu'au niveau du plateau par lequel ils pouvaient être facilement amenés sur le carreau de la mine. L'adoption d'une inclinaison continue eût entraîné, au contraire, une forte dépense d'exploitation soit à la remonte, soit même à

la descente, par l'emploi presque continu des freins et l'usure des rails. Cette appréciation est d'ailleurs conforme à ce qui se passe aujourd'hui : le tracé par le cours d'eau a été adopté par le chemin de fer à voie ordinaire de Montluçon à Moulins, entre Commentry et Montluçon. L'exploitation est faite dans des conditions remarquables, et cependant ne paraît pas devoir être plus économique que sur la petite voie, tandis que le capital d'établissement pèse lourdement sur l'entreprise par les intérêts à servir.

L'installation de plans inclinés desservis par des machines fixes étant admise, on avait à déterminer la largeur de la voie. Dans de pareilles conditions, la plus grande économie est obtenue par l'organisation de trains légers et fréquents ; la voie de $1^{m},500$, avec des wagons à marchandises de 5 à 6 tonnes, tels que ceux en usage alors sur le chemin de Lyon à Saint-Étienne, eût entraîné des dépenses d'installation pour les câbles, les tambours, les machines, que l'on a considérablement réduites par l'adoption de la voie de 1 mètre. Cette voie permet aussi de circuler plus facilement dans les courbes des abords de la mine ; les chevaux y maîtrisent facilement les wagons séparés, et les embranchements se déplacent à peu de frais suivant les besoins. Enfin, cette voie suffit à un trafic bien plus considérable que celui pour lequel elle a été établie ; ce trafic est aujourd'hui de plus de 400,000 tonnes par an dans le sens de la descente, et de 25,000 environ dans le sens opposé.

Quant à la jonction avec la voie de $1^{m},50$, elle est effectuée aujourd'hui dans la gare de Commentry et de la manière la plus heureuse. — Un embranchement, à la largeur de 1 mètre, se détache de la ligne mère, et, après avoir traversé en dessous le chemin de fer et une route ordinaire, vient parallèlement à la gare des marchandises longer une des voies de cette gare, à un niveau assez élevé pour que les wagons de houille laissent tomber leur contenu dans les wagons de la Compagnie d'Orléans au moyen de simples couloirs. Par ce moyen sont évités tous les inconvénients que présente le raccordement à niveau de deux voies appartenant à des propriétaires différents. Chacun d'eux supportant la charge des installations qui lui sont nécessaires, les dépenses sont mieux ordonnées et plus à l'abri de l'exagération : la répartition en est toute naturelle et conforme à l'équité. C'est par une disposition analogue que se fait, à Montluçon, l'embarquement des charbons sur le canal ; et il y a dans ce fait de l'unité de manœuvre aux deux extrémités de la ligne un élément de simplification bien apprécié des équipes de chargement.

La longueur totale de la ligne mère est de 17,000 mètres environ. L'embranchement sur la gare de Commentry a une longueur de 1,200 mètres ; la ligne comprend encore quelques ramifications, une entre autres sur la forge de Commentry, avec des rayons de 90 mètres et une pente de 10 millimètres.

Dans le principe, la voie a été disposée avec des accotements de 1 mètre, ce qui donnait une largeur totale de 3 mètres au couronnement, y compris les fossés sous les ponts et dans les tranchées perreyées. Des rails à simple champignon, pesant 18 kilog. environ par mètre, ont été posés sur des traverses espacées de 80 à 90 centimètres et logés dans des coussinets. Les travaux d'art sont relativement assez nombreux ; le tracé traverse deux fois le cours d'eau auquel il est à peu près parallèle dans son ensemble ; une première fois sur un viaduc élevé, et une seconde fois sur un viaduc situé au bas d'un premier plan incliné rachetant une hauteur de 130 mètres environ. A Montluçon, il traverse le Cher sur un pont, et au bas d'un second plan incliné ; ce pont a la largeur nécessaire à quatre voies, et comporte une quantité d'aiguilles et de croisements indispensables à la manœuvre, au triage des wagons et à la formation des trains. Ces viaducs et pont ont été, à l'origine, exécutés avec des piles en maçonnerie

et des travées en charpente. En 1855, les boiseries du pont sur le Cher ont été remplacées par des travées en tôle, et les deux viaducs par des remblais.

Le chemin a été, à l'origine, en 1844, exploité au moyen de chevaux, une seule pente s'y trouve à l'inclinaison de 12 millimètres ; il y a une rampe de 4 millimètres 1/2 dans le sens du trafic. En 1852, fut mise en service la première locomotive : les faibles accotements ont créé bien des obstacles, mais avec des perfectionnements successifs, l'excellent directeur des ateliers de la mine, M. Florain, est arrivé au type remarquable exposé en 1867 au Champ de Mars, et qui a obtenu deux distinctions du jury.

Les locomotives en usage sur cette voie pèsent environ 15,000 kilgs vides, et 19,680 kilgs. à pleine charge. La charge est alors ainsi répartie : 6,800 kilgs sur l'essieu d'arrière, et 6,440 sur chacun des deux autres. Les cylindres sont légèrement inclinés, ce qui permet l'emploi d'une bielle à fourchette, et, par ce moyen, de gagner un peu sur la largeur.

L'introduction de ces machines sur la voie s'est faite sans changement notable. Les rails ont été maintenus ; et, comme la voie est peu large, les traverses peu coûteuses, on a simplement augmenté le nombre de celles-ci.

Le prix des wagons employés sur les voies de 1 mètre est peu élevé. Sur la ligne de Commentry, les wagons à houille ont coûté en moyenne environ 500 francs. Sur d'autres embranchements appartenant à la même Société, de même largeur de voie et desservant des minières, on a payé les wagons à mine avec frein, 7 à 800 fr., et des wagons plats n'ont pas coûté plus de 250 francs. Tous ces wagons sont montés sur roues en fonte et sans ressorts.

Dans ces conditions, il est assez difficile de donner le prix de revient de ce chemin. Les prix sont bien différents aujourd'hui de ce qu'ils étaient en 1840 et 1844 : les comptes détaillés seraient peut-être difficiles à retrouver aujourd'hui, et le prix total comprend l'installation de deux plans inclinés ; par contre, divers amortissements ont été opérés, mais le prix final ne peut pas ressortir à plus de 110,000 francs par kilomètre.

Le chemin de fer et ses accessoires ont été projetés et exécutés par M. Forey, ingénieur, membre de la Société, sous la direction de M. S. Mony, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

M. Ivan Flachat ajoute que les résultats remarquables obtenus sur le petit chemin de fer de Commentry à Montluçon ont été le point de mire de plusieurs. Entre autres, les propriétaires des concessions houillères de Champagnac, dans le Cantal, éloignées de toute communication économique par rails ou par eau, ont songé à profiter du thalweg tourmenté dans lequel coule la Dordogne pour relier leurs mines au réseau d'Orléans, qui croise cette rivière à Saint-Denis près Martel. Ils ont fait étudier un chemin de 110 kilomètres, avec 1 mètre de largeur de voie, partant de l'orifice des puits, et suivant les plateaux jusqu'aux bords escarpés de la Dordogne, qu'il gagne au moyen d'un plan incliné rachetant 250 mètres de hauteur. De ce point, la ligne suit tous les contours de la rivière, et ne rencontre que des inclinaisons longitudinales inférieures à 10 millimètres. Le profil transversal est au contraire très-tourmenté ; les berges ont presque constamment une hauteur de 500 mètres, et sont tellement escarpées que les éboulements amènent des blocs pesant jusqu'à 1,000 kilgs. On traverse plusieurs fois la rivière, mais on évite avec soin les tunnels, qui ne pourraient être ouverts que par les deux extrémités et à travers des roches très-dures.

L'administration, préoccupée, de son côté, des richesses houillères inexploitées à

Champagnac, a fait étudier, par MM. les ingénieurs de l'État, une ligne de 1m.500 de voie, s'embranchant sur le réseau d'Orléans au même point que la précédente, et suivant comme elle le cours de la Dordogne. Mais les courbes au-dessous de 300 mètres n'ayant pas été admises, le tracé coupe une grande quantité de contre-forts contournés par la voie de 1 mètre ; et finalement, le devis s'élève à près de 400,000 francs par kilomètre, tandis que celui de la petite voie est évalué à 110,000 francs tout compris.

L'exécution de l'un ou l'autre de ces chemins est ajournée aujourd'hui par suite de la présentation aux Chambres d'un projet de loi comportant l'exécution du chemin de Tulle à Clermont-Ferrand, avec embranchement sur Vendes, ou plutôt sur le bassin de Champagnac, Vendes étant le point extrême de ce bassin.

M. Ivan Flachat demande à conclure de ces faits qu'il est bien difficile *à priori* de se prononcer d'une manière absolue pour l'adoption de telle ou telle largeur de voie. La voie de 1m.500, le long des berges de la Dordogne, n'est pas praticable à une société industrielle, tandis que, sur le devis de celle de 1 mètre, une combinaison dans laquelle auraient pu entrer quelques subsides et encouragements de l'État était très-admissible. En occupant quelques chemins latéraux, la petite voie pouvait s'établir avec une emprise de 3 mètres, là même où une emprise de 4m.500 sur des flancs abrupts entraînait dans des frais énormes. La voie de 1 mètre tournait des contre-forts que la voie de 1m.500 devait percer, et cela dans des roches porphyriques et basaltiques d'une extrême dureté. Dans la comparaison des deux voies, l'avantage est, dans des cas analogues, à la petite voie, et tout à fait incontestable eu égard au trafic probable.

Mais, dans le cas où un chemin doit se raccorder avec la voie ordinaire, et peut être tracé en plaine et sans obstacles, la comparaison est à l'avantage de la grande voie, qui supprime les transbordements et le capital d'établissement du matériel. L'hésitation n'est plus permise.

C'est entre ces deux cas extrêmes que doit se placer la discussion ; et c'est à l'examen de chaque cas particulier de décider l'option, suivant les dépenses d'établissement et celles d'exploitation comparées au trafic probable.

M. Richard désire établir que la voie large de 1m.50 n'exige pas impérieusement des rails lourds pour la voie, et des machines locomotives pesantes; on peut très-bien avoir des machines légères de 12 à 15 tonnes sur une voie de 1m.50, composée de rails légers, les poids étant calculés d'après le trafic à desservir. Nos premières lignes de Saint-Étienne l'ont prouvé. Dans ces conditions, l'augmentation de dépenses résultant de la largeur de la voie ne serait pas considérable, les réductions principales étant faites sur le matériel fixe et sur le matériel roulant, qui sont les deux chefs de dépense chargeant le plus le prix d'exécution kilométrique. Dès lors il s'agirait de voir si cette augmentation de dépenses, relativement faible, ne serait pas largement compensée par la possibilité de recevoir *non pas les machines*, mais les wagons de la grande ligne, c'est-à-dire 15 tonnes, et d'éviter ainsi à la petite ligne les frais de transbordement et l'acquisition d'un matériel roulant assez nombreux.

Étant dans cet ordre d'idées, M. Richard a eu l'occasion de lire un rapport de M. Varroy, ingénieur des ponts et chaussées, au conseil général du département de la Meurthe, écrit à propos de l'exécution des chemins d'intérêt local projetés dans ce département. Il en donne quelques extraits à la Société.

Ce rapport est conçu dans les mêmes idées que celles de M. Richard; M. Varroy a cherché quelles seraient les augmentations de dépenses occasionnées par la substitution d'une voie de 1m.50 à une voie de 1m.10, et il est arrivé aux chiffres suivants :

Pour l'infrastructure, l'augmentation ne serait que de 900 à 1100 francs.

M. Varroy admet, pour arriver à ce résultat, que le tracé du chemin de fer pourra affecter des courbes de 150 mètres, et même de 100 mètres de rayon, qui suffiront pour arriver au minimum des terrassements, les machines pouvant, selon lui, circuler facilement dans ces courbes avec des essieux extrêmes, espacés de $1^m.60$ à $2^m.60$.

A l'appui de son opinion, M. Varroy cite des extraits de rapports de M. Bousson (*Annales des ponts et chaussées*), sur les chemins de fer de Rhône-et-Loire, et de M. Couche sur la machine de M. Petiet : le premier dit que des machines à six roues couplées (17 à 20 tonnes) ont passé pendant des années dans des courbes et contre-courbes de 100 mètres de rayon, qui n'étaient même pas raccordées par des lignes droites ; le second dit que la machine puissante de M. Petiet (200 mètres carrés de surface de chauffe), dans les expériences faites à Saint-Gobain, avec des essieux rigoureusement parallèles, espacés de 6 mètres, a circulé avec une grande facilité dans une courbe de 80 mètres de rayon.

M. Richard pense aussi, sans adhérer absolument aux chiffres de M. Varroy, que les courbes du petit rayon peuvent être adoptées sans crainte avec la voie de $1^m.50$ pour des chemins sur lesquels la vitesse sera de 20 à 25 kilomètres par heure, et qu'alors l'augmentation de dépenses à faire par kilomètre, pour l'infrastructure d'une voie de $1^m.50$, ne serait pas assez importante pour faire rejeter la voie large.

Pour la superstructure, M. Richard a déjà expliqué, même dès sa première communication à la Société, qu'il était d'avis de réduire le poids des rails dans une aussi forte proportion que possible, en raison des poids à porter. M. Varroy émet l'opinion semblable, et après avoir établi que la diminution de dépense kilométrique à obtenir de l'emploi de rails de 20 kilogrammes, et de machines ne portant que 7 à 8 tonnes par essieu, serait de 13 à 14,000 fr. par kilomètre, il se demande *si cette économie serait sensiblement augmentée par la réduction de l'écartement des rails.* M. Varroy arrive à ce résultat que *la voie étroite* peut procurer, *par rapport à la voie large*, une économie kilométrique de 1,500 à 1,800 francs sur la superstructure, le poids des rails étant le même dans les deux cas, bien entendu, c'est-à-dire qu'avec une voie étroite de $1^m.10$ et rails de 20 kilogrammes, par exemple, on arriverait à une économie de environ 16,000 francs sur une voie de même écartement et rails de 35 kilogrammes, tandis que, avec la voie large et les mêmes rails de 20 kilogrammes, on ne ferait qu'une économie d'environ 14,000 francs par kilomètre.

M. Richard, après avoir cité ces chiffres, pense qu'ils méritent au moins d'être examinés de près, et qu'en fin de compte, si l'on a réduit au minimum les dépenses d'infrastructure par le tracé, de superstructure par le poids des rails, de matériel roulant comme poids et comme quantité en raison du trafic à desservir et du poids mort à diminuer, il ne restera plus de grands avantages à invoquer en faveur de la voie étroite, au point de vue des dépenses du premier établissement.

Au point de vue de l'exploitation, M. Richard pense que l'avantage est tout entier en faveur de la voie large. Il s'en réfère à ses premières explications sur ce sujet.

M. Molinos demande dans quel but M. Richard a cité les chiffres de la brochure de M. Varroy, qui, autant qu'il en peut juger à une première audition, sont de nature à soulever une foule d'objections fondées, et sont en contradiction manifeste avec les opinions émises jusqu'à présent par tous les membres de la Société dans cette discussion, notamment avec les idées que M. Richard a présentées lui-même, et qu'on pouvait considérer comme acquises désormais et hors de contestation. Si on veut faire

aboutir utilement cette discussion, il ne faut pas l'encombrer de documents contradictoires, qui ne sont propres qu'à jeter de la confusion dans tous les esprits et à remettre à chaque instant tout en question. Ainsi M. Richard a établi dans sa note qu'un chemin de fer à grande voie ne pouvait pas coûter moins de 105,000 francs; que la moyenne de son projet du réseau de Seine-et-Marne s'élève à 117,000 francs. Aujourd'hui il avance, avec l'auteur de la brochure qu'il cite, que l'adoption de la petite voie ne conduit qu'à une économie insignifiante. Or le devis que MM. Molinos et Pronnier ont donné, et qui n'a rien d'hypothétique, fait ressortir la dépense réelle du chemin à petite voie, non compris le matériel roulant, à 16,335 francs, savoir :

Terrain	857
Terrassement	2800
(Travaux d'art) maçonnerie et charpente	1,107
Traverses	1,857
Ballastage et pose de la voie	2,500
Rails et éclisses	7,214
	1,6335

Pour tenir compte de l'adoption d'un rail de 18 kilogrammes, mettons même 19,000 francs.

Relevons les mêmes chiffres sur le devis de M. Richard, nous trouvons :

Terrain	10,000
Terrassements, etc	15,000
Ouvrages d'art	10,000
Passage à niveau	3,000
Voie et accéssoires	36,000
	74,000

Soit 74,000 francs.

Que peut-on réduire sur cette somme? le poids des rails de 25 kilogrammes à 18, soit environ 3,000 francs. Et ensuite? M. Molinos ne le voit pas. Or de 19,000 francs à 74,000 la différence n'est pas du tout insignifiante, comme le disent M. Richard et l'auteur de la note, qui trouve pour la superstructure une différence de 15 à 1,800 fr. Mais les traverses seules font, d'après le devis de M. Richard lui-même, une différence de 6,500 francs. M. Richard ne peut donc avoir raison aujourd'hui qu'en renversant toutes les conclusions de sa note précédente; s'il croit qu'on peut établir un chemin de fer à grande voie pour un chiffre voisin de 20,000 francs (en ne considérant que les chapitres comparés). M. Molinos lui demande le détail de sa nouvelle évaluation, qu'il semble impossible de mettre d'accord avec la précédente.

D'ailleurs ce ne peut être la proposition inverse que M. Richard voudrait soutenir, c'est-à-dire qu'un chemin à petite voie approcherait de près de 105,000 francs. En effet le prix de 19,000 francs n'est pas un devis, un projet; c'est un chiffre résultant d'un travail exécuté, par conséquent indiscutable, et pour les autres articles, stations, matériel, etc., M. Richard ne les évalue qu'à 22,000 francs, tandis qu'en annonçant qu'on peut exécuter un chemin à petite voie pour 50,000 francs, MM. Molinos et Pronnier allouent 30,000 francs à ces mêmes dépenses.

M. Richard paraît également donner son approbation à l'opinion émise par l'auteur de la note, suivant lequel les courbes de 90 mètres de rayon devraient être communément employées dans la construction des chemins de fer. C'est encore une opinion qui,

suivant M. Molinos, sera repoussée par tous les ingénieurs expérimentés. Il faut en effet bien distinguer entre les conditions normales dans lesquelles on peut adopter une solution, et les conditions extrêmes, limites dans lesquelles, une fois par hasard, on peut la faire descendre.

Lorsque MM. Molinos et Pronnier ont proposé pour le tracé des chemins de fer à petite section l'adoption de courbes de 100 mètres de rayon, ils ont voulu dire par là que le train passerait dans ces courbes avec la même facilité, la même sécurité que le matériel des grandes lignes passe dans les courbes de 300 à 400 mètres. Autrement ils ont dit que le chemin de Tavaux présente des courbes de 30 mètres, et on pourrait même faire circuler le matériel dans des courbes de 15 mètres. S'ensuit-il qu'ils conseillent l'adoption des courbes de 15 mètres et de 30 mètres? Pas plus qu'ils ne voudraient employer sur une grande ligne des courbes de 90 mètres. M. Molinos croit que ce genre d'arguments qui consiste à tirer d'une solution plus qu'elle ne peut donner est de nature, comme il le disait en commençant, à embrouiller la question sans profit. Il faut laisser à la petite voie le caractère de flexibilité qu'elle possède évidemment à un degré bien supérieur; c'est une des conditions d'économie la plus considérable qu'elle présente au point de vue des travaux d'art, des terrassements et des terrains.

M. Richard répond que la contradiction que M. Molinos voudrait établir n'existe pas. Car, pour la faire ressortir, M. Molinos se place à son point de vue exclusif, et fait une comparaison entre deux chemins qui ne sont pas le moins du monde comparables. Et c'est toujours là la confusion de cette discussion.

En effet, on ne peut comparer le chemin de M. Molinos, qui est un chemin approprié à une industrie unique, établi sur une route, sans terrassements ni ouvrages d'art, aux chemins dont a parlé M. Richard, supposés construits en pleins champs, entraînant toutes les dépenses auxquelles donneront lieu les conditions probables de construction d'un *véritable chemin de fer d'intérêt local*.

M. Richard n'a donc pas voulu dire qu'il établirait un chemin de fer à grande voie pour 20,000 francs par kilomètre; mais il a voulu dire que, s'il a projeté un chemin *à grande voie* dont les travaux et la voie s'élèvent à une dépense de 74,000 francs par kilomètre, le chemin *à petite voie*, établi sur le même tracé avec les mêmes courbes, avec le même profil en long, avec des rails réduits de quelques kilogrammes par mètre courant, ne procurerait qu'une économie peu importante par kilomètre, et coûterait, par conséquent, de 65 à 70,000 francs, et non pas 20,000 francs comme M. Molinos voudrait le lui faire dire.

M. Nordling fait observer que l'avantage principal qu'on attribue à la voie de 1m.50 consiste précisément dans la possibilité de s'y servir du matériel des grandes Compagnies voisines, et qu'il ne faudrait donc pas faire l'hypothèse contraire.

Il ajoute qu'il croit impossible de faire circuler le matériel ordinaire, dans des conditions pratiques, sur des courbes de 90 mètres de rayon.

M. Nordling cite deux exemples de chemins provisoires avec courbes de 150 mètres et de 175 mètres de rayon.

Ces chemins, nécessités par des réparations de la voie principale, n'ont pu servir à l'exploitation qu'en prenant certaines précautions.

La vitesse y était réduite dans une grande proportion, et sur le chemin de l'Est les trains ne circulent dans ces portions à faible rayon qu'en étant précédés d'un homme à pied.

M. Nordling ajoute qu'il suffisait de regarder comment se comportaient les boudins des roues pour s'assurer qu'on ne pouvait pas impunément augmenter la vitesse des trains.

M. Eugène Flachat répondant à M. Richard fait observer qu'en commentant la note de M. Varroy, dans la recherche des limites auxquelles on peut atteindre pour la réduction de la largeur de la voie dans l'établissement des chemins de fer locaux, on replace la discussion sur le terrain des généralités. Il regrette que trop de temps ait été perdu dans une comparaison entre la voie ordinaire et la voie réduite. La discussion est inutile là où il ne peut y avoir l'ombre d'un doute pour qui que ce soit sur la supériorité effective de la voie ordinaire sur la voie réduite. La voie ordinaire est non-seulement l'application la plus générale, mais elle doit, autant que possible, continuer à s'étendre partout où les ressources qu'offrira le trafic et partout même où, à défaut d'un trafic suffisant, des subventions ou des garanties d'intérêt en permettront l'établissement.

Mais partout où l'un de ces deux moyens sera impuissant, il faudra chercher une autre solution pour réduire le prix des transports, et si cette solution devient possible par l'adoption d'une voie de $0^m.80$ à $1^m.10$ il faudra s'y résigner. Il est probable alors que le meilleur moyen d'obtenir un jour la voie ordinaire, sera de commencer par une voie réduite qui, diminuant les frais de transport dans la proportion de 4 à 1, aura développé la production.

Le seul point de départ possible dans cette discussion, la seule base d'un programme paraît être dans la liberté pour l'ingénieur de choisir entre les moyens par lesquels il peut réaliser l'économie des transports, tout en rémunérant le capital employé dans ce but.

Pour cela, il nous faut apprendre de ceux qui ont exécuté des chemins de fer à voie réduite les moyens qu'ils ont employés pour résoudre le double problème d'une construction très-économique et d'une exploitation également économique. A ces deux questions sur la valeur desquelles il importe de nous éclairer, il en est une troisième qui ne présente pas un moindre intérêt, celle des formes administratives qu'exige la législation pour un chemin de fer qui occupe une partie d'un chemin vicinal, qui ne sort pas du territoire de la commune et qui en traverse plusieurs, qui passe dans la grande rue du village, qui jette des embranchements dans les mines ou dans les exploitations rurales qu'il rencontre, qui entre sur la place de la petite ville, qui n'est pas clos, qui modifie par des exigences de police l'approche de la propriété riveraine, qui s'arrête au port d'un canal ou d'une rivière, ou dans une gare de chemin de fer, sans posséder même, pour son usage spécial, le terrain qu'il a emprunté au domaine public parce qu'il n'a le droit de gêner aucun accès aux propriétés riveraines, etc., etc.

Les quelques lignes que contient la note de M. Molinos sur ce point important sont autant de traits de lumière dans la profonde obscurité où nous sommes encore sur le régime légal de la voirie appliquée à ces chemins de fer.

« Pour donner la place au chemin de fer on élargit le chemin vicinal; un arrêté préfectoral y suffit; la mise en possession est immédiate; les indemnités sont réglées par le service vicinal ou par le juge de paix en cas de désaccord. Ces formalités dispensent de toute concession, de toute déclaration d'utilité publique, et quant à l'exploitation une seule règle y suffit, le ministre des travaux publics a assimilé les trains circulant sur la voie aux machines routières et les a soumis aux mêmes règlements. »

On ne peut hésiter à le dire : de si simples dispositions émanant de l'autorité prouvent à la fois sa libéralité et sa sagesse ; elles suffiront à démontrer combien il est hors de saison de combattre les avantages de la voie réduite par les avantages de la voie ordinaire.

Aujourd'hui l'exploitation d'un chemin de fer fait cesser toute communication entre les propriétés qu'il divise et dont il prend une partie pour son assiette ; de là des indemnités pour la séparation, pour l'interdiction d'accès et l'acquisition de la surface occupée, mais, voilà que l'exploitation de la voie réduite permet de rayer ces deux gros chapitres du budget de la construction?

Pour les terrassements, comment en suivant le profil du chemin vicinal a-t-on concilié les rectifications qu'exigeaient de trop brusques mouvements de terrains? C'est ce qu'a fait M. Molinos, mais il reste encore des détails à apprendre sur les moyens qu'il a employés.

Quant aux travaux d'art, il n'en entre pas dans la description des chemins de Tavaux-Pontséricourt, ce qui semblerait indiquer que ceux du chemin vicinal ont suffi malgré le poids de 7500 kilogrammes de machines, poids très-supérieur à celui des véhicules habituels.

L'usage des ouvrages d'art des chemins vicinaux peut-il être ainsi étendu aux chemins de fer locaux? Si cette question peut être résolue affirmativement, elle exclut encore toute comparaison entre la voie ordinaire et la voie réduite.

Quant aux stations, la voie réduite les trouve dans les établissements qu'elle rencontre. Un petit garage est dans la rue du village, sur la place, où l'abri est pour les voyageurs dans l'auberge ou dans un bureau contigu ; aucune analogie ne se présente encore.

Sur le matériel roulant la différence est très-intéressante à signaler. Celui de la voie réduite se compose de véhicules à essieux rapprochés et dont le coût varie de 600 à 1,200 francs, suivant qu'ils sont destinés aux transports des matériaux ou des marchandises. Les usines, les exploitations agricoles contribueront à la fourniture de ce matériel qui leur appartiendra ; les choses se passent ainsi généralement en Angleterre, dans les centres houillers ; de là l'immense richesse en matériel dont les chemins de fer profitent, dans ce pays.

Les opinions hostiles à l'établissement de la voie réduite quelque part que ce soit, affirment que la voie ordinaire se prête aux courbes des plus faibles rayons et que sous ce rapport elle peut être tracée partout où le serait la voie réduite ; c'est là une erreur manifeste, le rayon minimum de 300 mètres imposé par les cahiers des charges est consacré par l'expérience là où la marche des trains ne doit subir aucun ralentissement et il n'est réduit que très-exceptionnellement là où la vitesse n'est pas en cause. Dans ce cas l'administration tolère des rayons de 250 mètres, l'expérience prouve qu'il est difficile de descendre plus bas. Dans la traversée des Alpes au Semmering, il y a des courbes de 189 mètres sur des inclinaisons de 25 millimètres, elles suffisent à ralentir les trains descendants ; à la remonte, l'effort de traction est augmenté au point d'exiger le dédoublement des trains de marchandises. Au contraire, dans la traversée des Alpes au Brenner, où le rayon minimum des courbes est de 285 mètres, le train ne subit pas, à la descente, de ralentissement sensible et le dédoublement des trains de marchandises n'est pas nécessaire à la remonte. Une note de M. Gottschalk qui est présentée aujourd'hui à la Société donne sur ce point les détails les plus intéressants.

La plus ingénieuse tentative pour réduire le rayon des courbes est sans contredit

celle de M. Arnoux, mais elle exigeait un matériel spécial; or l'unité de largeur de la voie n'a de valeur qu'à la condition de n'être pas une cause de trouble dans l'exploitation : elle signifie alors parité de solidité, parité du matériel, parité de vitesse, en un mot, parité absolue dans les conditions d'exploitation. L'intérêt de cette unité grandit à mesure qu'il s'applique aux plus fortes distances et, à ce point de vue, il est remarquable que les deux peuples européens qui ont voulu s'isoler du reste de l'Europe par une modification de la largeur de la voie sont justement les moins avancés en civilisation, c'est l'Espagne et la Russie. Mais cet intérêt de parité de système s'éteint là où se produit, pour le chemin de fer, la condition d'être ou de ne pas être.

On a fait encore contre la voie réduite l'objection du transbordement. On a posé ainsi en fait général et absolu que le matériel des embranchements à voie ordinaire franchissait des centaines de kilomètres passant d'un réseau à un autre pour arriver à destination. C'est là une grave erreur; chaque réseau garde autant qu'il le peut son matériel roulant. Sur le même réseau le transbordement s'opère en raison des distances à parcourir, et, dans les exploitations bien conduites, on complète toujours ainsi le chargement des wagons que des centaines de kilomètres séparent de leur destination.

On a dit que les dépenses de transbordement étaient de 60 à 80 centimes par tonne. Ce chiffre ne peut être attribué aux dépenses matérielles de passage d'une tonne d'un wagon dans un autre, et c'est à cela que se réduit le transbordement; toutes les autres manutentions telles que pesage, lettres d'expédition, enregistrement, sont les conséquences de la prise en charge, par la grande ligne, de la marchandise qu'elle reçoit de l'embranchement. La voie ordinaire n'en dispense pas, parce que la *petite ligne*, indépendante de la *grande ligne*, aura toujours intérêt à liquider sa responsabilité vis-à-vis de l'expéditeur par la remise de la marchandise à la *grande ligne* dans les conditions où elle l'a reçue, conditions que constate la lettre d'expédition.

Le véritable et le seul chiffre qu'il faut attribuer au transbordement est celui que coûte le passage de la tonne de marchandise d'un wagon sur un autre dans les gares d'embranchements exploitées par les grandes lignes. Dans ces gares les wagons incomplétement chargés de la grande ligne reçoivent, à leur passage, un complément de chargement enlevé aux wagons incomplétement chargés de l'embranchement, et comme toutes les formalités d'expédition et de prise en charge ont été accomplies à l'origine elles ne sont pas renouvelées. Tel est et sera toujours le régime des embranchements.

Quant au prix de revient du transbordement en lui-même pour les marchandises en général, là où l'usage des grues est de règle, il coûte 10 à 12 centimes par tonne, pour les marchandises en sacs telles que les grains, les farines, le sucre indigène, le café, etc., ainsi que pour les marchandises en barriques ou en caisse, telles que le vin, l'huile, les esprits, la faïence, etc. Le coût est de 15 à 20 centimes pour les planches, bois de construction : il est un peu plus élevé pour les marchandises en vrac, si aucune disposition n'est prise pour en faciliter la manutention; mais avec un outillage convenable il en est tout autrement. On sait ce que coûte la manutention d'une tonne de houille d'un wagon dans un autre. Ce transbordement a lieu sur tous les bassins houillers. L'étude de M. Moreau sur les manutentions subies par la houille dans les ports anglais nous apprend que pour passer d'un navire dans un wagon et réciproquement, la dépense n'excède pas 12 à 15 centimes par tonne. Les transbordements des marchandises divisées en colis manœuvrables par les grues coûtent encore moins,

parce que partout où des transbordements s'opèrent fréquemment, l'outillage et les dispositions locales sont appropriés à cette destination.

M. Eugène Frachat termine en demandant que la discussion soit portée sur les faits qui concernent immédiatement l'établissement et l'exploitation de la voie réduite; faits aujourd'hui trop généralement ignorés.

M. le Président fait remarquer que c'est là sa principale préoccupation; et que c'est pour cette raison qu'il a demandé à M. Yvan Flachat des détails aussi complets que possible sur la construction et l'exploitation des chemins qui relient les houillères de Commentry à Montluçon et au canal du Berri, dont notre collègue vient de rendre un compte si intéressant, auquel il promet d'ajouter ultérieurement tous les détails et renseignements qu'il pourra réunir. M. le Président ajoute qu'il serait très-désirable que cet exemple fût suivi et que d'autres membres voulussent bien rechercher et donner des renseignements semblables sur les chemins à voie étroite de Suède et la ligne d'Anvers à Gand et sur les motifs de la grande extension donnée à ces chemins en Suède.

M. Thomas croit devoir faire remarquer que le choix entre la voie réduite et la voie ordinaire de 1m.50 doit être influencé par les circonstances et conditions spéciales des chemins à établir; il appuie cette opinion sur ce qui s'est passé, il y a quelques années, à l'occasion des chemins de fer départementaux dans l'Allier. Les ingénieurs des ponts et chaussées proposaient pour les chemins une voie étroite; une commission nombreuse, composée de manufacturiers et propriétaires, se prononça en faveur de la voie ordinaire (il est quelquefois utile de connaître l'avis d'autres personnes que les ingénieurs). Cette décision s'est étayée sur les deux points suivants, qui n'ont peut-être pas encore suffisamment attiré l'attention de la Société, la nécessité de se relier aux grandes lignes qui sillonnent le département et dont la position des gares exige, pour presque toutes, une partie commune sur une certaine longueur, et le transbordement de la chaux et des produits des houillères, matières formant la base du trafic, et auxquelles le changement de wagon fait éprouver une *dépréciation* notable.

M. le Président rappelle que la première de ces objections contre la réduction de la voie, celle du raccordement, peut être levée par l'addition d'un rail intermédiaire sur les traverses des grandes lignes.

M. Thomas répond qu'il est déjà bien difficile de s'entendre pour le raccordement dans les gares, la voie étant la même, avec les Compagnies existantes, et que la difficulté d'une entente se trouverait encore beaucoup accrue par l'exigence de l'installation d'un troisième rail, lequel ne laisserait pas d'entraîner quelque gêne au moins pour le service. M. Thomas insiste sur la dépréciation qui s'ajoute à la dépense de transbordement pour la houille criblée, le coke et la chaux; l'on a estimé jusqu'à 10 p. 100 de sa valeur la dépréciation seule pour le coke, et elle ne saurait être estimée à moins pour la chaux. Une telle perte, qui pèse sur les industriels ou sur les acquéreurs, est intervenue pour beaucoup dans la décision de la Commission des chemins de fer départementaux de l'Allier. Ces chemins n'ont pas encore été décrétés; mais ce n'est pas l'excès de prix, relativement faible, d'une voie large qui empêche jusqu'à présent leur exécution.

M. Ribail dit que les chemins de fer départementaux auront à transporter des matières de diverses natures, et qu'il ne sera pas possible d'aménager les gares dans

les conditions où peuvent l'être celles qui n'ont à transporter qu'une seule marchandise. Il ne pense donc pas que l'on puisse comparer la manutention dans ces gares à celle qui s'effectue au point de jonction des lignes minières avec les grandes lignes, et il maintient qu'on n'estime pas assez haut le prix de revient et les inconvénients qui résulteront d'un transbordement.

M. Ribail fait remarquer que, dans les courbes du Semmering, tous les tampons se touchent à la descente. La résistance à la descente est, par suite, beaucoup plus considérable qu'à la remonte; l'exemple cité ne donne donc pas l'expression de la résistance des trains dans les courbes.

MM. Ribail et Richard admettent les chiffres donnés par M. Thomas, pour le déchet de 10 p. 100 applicable aux transbordements du coke.

M. Eugène Flachat répond aux observations de MM. Thomas, Richard et Ribail sur les dépenses de transbordement.

D'après M. Thomas, la voie réduite aura le grave inconvénient d'exiger, pour la houille et le coke, un transbordement qui cause un déchet. D'après M. Richard, chaque transbordement coûte 50 centimes par tonne; d'après M. Ribail, la perte est de 10 p. 100. M. Flachat croit qu'il y a là un malentendu; que le transbordement, loin d'être une conséquence de la voie réduite, est généralement évité par elle, et que, dans les circonstances exceptionnelles où il a lieu, son coût et la perte qui résulte du déchet sont ici fort exagérés.

En fait général, aujourd'hui la voie réduite passe sous le gril des fosses; le faible rayon de ses courbes le lui permet; elle passe, pour la même raison, devant les fours à coke. Ses wagons reçoivent ainsi directement la houille ou le coke et les transportent au canal, au port ou à la gare de chemin de fer la plus proche où le transbordement a lieu.

Voilà le fait général. Sur tous les bassins houillers ce régime existe. Dans le bassin de Mons, c'est le chemin de fer à voie réduite qui dessert les fosses, les ports des canaux et les gares des chemins de fer à voie ordinaire.

Dans le bassin de Blanzy, dans celui du Creuzot, dans celui de Commentry et tant d'autres, la voie réduite remplit le même office; elle est le seul moyen d'accès aux fosses, aux fours, comme aux ports des canaux et aux gares des chemins de fer.

Dans ces bassins, où, par milliers de tonnes, la houille est expédiée chaque jour, l'importance du trafic et les ressources financières des concessionnaires suffisaient, certes, à justifier l'établissement de la voie ordinaire; pourquoi n'a-t-elle pas été adoptée? Pourquoi, récemment encore, la Compagnie du chemin de fer d'Orléans vient-elle d'adopter la voie réduite pour le chemin de Mondalazac? C'est que cette voie se prête aux usages industriels des exploitations privées par la facilité avec laquelle elle peut pénétrer partout.

Quant au coût de 50 centimes par tonne pour le transbordement, il n'existe nulle part. Un manœuvre charge un wagon de 10 tonnes de houille en 4 heures et demie; il gagne 33 centimes par heure : c'est 15 centimes par tonne. Mais, lorsque le transbordement peut s'effectuer sur plan incliné, la dépense se réduit à 8 ou 10 centimes; s'il s'effectue par développement ou ouverture du fond du wagon, il coûte 4 centimes.

Quant à la perte de 10 p. 100 par chaque manutention, c'est là une erreur plus grave encore. Il faut distinguer entre la production du menu et la perte. La plus grande partie de la houille est vendue sous forme de *tout-venant* : celle-là est insensible au transbordement. Le charbon de Commentry est transbordé, à Montluçon, du wagon de la voie réduite dans les bateaux du canal du Cher, qui est à petite section.

— A Marseille-les-Aubigny, il est transbordé dans les bateaux du canal latéral à la Loire, qui est à grande section. La tonne, chargée à la fosse, arrive à Paris *sans déchet*, et son prix, loin d'être réduit de 20 p. 100, comme on pourrait le conclure du fait avancé par M. Ribail, est égal sur les deux points de départ et d'arrivée, frais de transport non compris.

Dans un transbordement de gailleterie ou de gros convenablement fait, la proportion de menu résultant de la manutention est de 3 à 5 p. 100, suivant la friabilité de la houille, et la perte est nulle ou du moins, et pour des cas tout à fait spéciaux, elle se réduit à la différence de valeur entre le menu et les fragments, sur les 3 ou 5 p. 100 de menu résultant de la manutention.

M. Ribail a dû confondre les opérations du déchargement d'un navire et chargement sur wagons ou mise en tas, avec le transbordement. C'est tout autre chose. Dans le transbordement, la houille n'est pas piétinée comme dans les cales ou sur le tas; elle n'est pas jetée du haut de l'épaule ou de la benne; elle est glissée d'un wagon dans l'autre sans projection. Cela est bien différent.

Nous savons tous, d'ailleurs, que, *dans l'industrie*, on sait tirer parti, pour la combustion, du menu mêlé à la gailleterie dans une certaine proportion, tout autant que des fragments, et M. Ribail est un des ingénieurs qui ont, des premiers, obtenu ce résultat. — Il l'a obtenu si complétement qu'il a toujours préféré le foyer ordinaire des locomotives à ceux, brevetés ou non, inventés dans le but spécial de brûler le menu.

En résumé, le transbordement n'est, dans aucune circonstance, à opposer à l'adoption de la voie réduite, pas plus pour la houille que pour les autres marchandises.

En général, tout ce qui est transporté sur les grandes lignes de chemins de fer est d'abord chargé sur voitures, camionné à la gare, déchargé sur le quai et rechargé sur les wagons. La marchandise subit ainsi deux manutentions de chargement avant le départ sur rails. Dans ce cas, la voie réduite peut charger directement dans les usines, dans les moulins, et dans les exploitations agricoles, comme elle charge dans les houillères, parce qu'elle peut seule accéder partout; et non-seulement aucun travail supplémentaire n'est ajouté aux opérations de manutention, mais une d'elles peut être simplifiée.

Il y a une circonstance où on pourra mettre au compte des chemins de fer locaux un transbordement supplémentaire, ce sera celle où ces chemins, ne pouvant approcher d'aucun centre industriel, exigeront un camionnage à des gares éloignées: or cette fâcheuse condition est généralement celle de la voie ordinaire. La voie réduite ira pour ainsi dire chercher la marchandise à domicile dans tout atelier agricole ou industriel important, et c'est là un de ses mérites principaux.

A la gare d'embranchement aura lieu la prise en charge et la distribution des marchandises dans les wagons de grande ligne. Là tout ce qui est chargé en destination de gares différentes est nécessairement transbordé pour être réparti suivant sa destination, afin qu'au passage du train, le wagon puisse être abandonné dans la gare intermédiaire à laquelle son chargement est destiné. Cette opération de classement devient ainsi un des services les plus importants. Des gares de transbordement sont échelonnées de distance en distance en vue de cette répartition des marchandises suivant leur destination. M. Jules Morandière a décrit ces gares nouvelles dans son rapport sur l'Exposition universelle; il indique les dispositions générales pour l'exploitation de ce genre d'établissement. Il est bien connu que telle partie de marchandises expédiée d'une distance de 6 à 800 kilomètres doit subir dans le trajet plu-

sieurs transbordements successifs. La marchandise chargée à Hendaye, frontière d'Espagne en destination de Strasbourg subit trois transbordements; les vins du Midi, le coton chargé au Havre quittent les wagons du chemin de fer du Midi et ceux de l'Ouest avant d'arriver à Mulhouse : s'il n'en était pas ainsi le matériel roulant de toutes les lignes subirait des émigrations impossibles. En ce moment le chemin de fer de Lyon alimente de blé le centre et le midi de la France : les envois ont lieu à Paris, à Bayonne, sur la Loire même, à des distances considérables du réseau de cette compagnie; cette grande ligne verrait donc, en peu de jours, disparaître son matériel, si le transbordement n'entrait pas dans l'exploitation comme une règle nécessaire.

La Compagnie du chemin de fer de l'Est a des relations toujours croissantes avec l'Allemagne, elle y envoie des wagons, mais dans des limites restreintes, et pour peu que des besoins pressants se manifestent en Allemagne, ses wagons ne reviennent plus en France. Ce fait s'est présenté lorsque la Prusse a eu besoin des blés de Hongrie; une véritable razzia de wagons a absorbé les moyens de transport dans la direction du nord de la Prusse au grand détriment des transports sur l'Ouest; il a fallu y mettre bon ordre.

A un autre point de vue, le transbordement est indispensable comme emploi utile du matériel. Les 8,894 wagons à houille et à coke du chemin de fer du Nord ont produit, en 1866, à cette Compagnie 14,242,000 fr., c'est un produit moyen de 1,800 fr. par wagon, tandis que ses 8,252 wagons à marchandises lui ont produit 34,036,000 fr. soit 4,000 fr. par wagon. Les wagons à houille et à coke se répandent sur les autres réseaux où ils n'ont à franchir que des distances qui ne valent pas les frais de transbordement, c'est pour cela que les wagons du Nord ont parcouru, en 1866, sur Lyon, 5,129,000 kilomètres; sur l'Ouest, 9,890,000; sur Orléans, 3,264,000; sur l'Est, 1,028,000 soit, ensemble, 19,311,000 kilomètres, tandis que les wagons des lignes de l'Ouest, de Lyon, d'Orléans et de l'Est n'ont parcouru, sur le chemin du Nord que 15,188,000 kilomètres. Ce sont là de bien faibles parcours, par rapport à la circulation générale du matériel sur la ligne du Nord qui a été de 264,694,000 kilomètres.

Assurément les échanges du chemin de fer du Nord avec les chemins de fer français excèdent de beaucoup la dix-septième partie du trafic total de cette ligne. Cependant le parcours du matériel appartenant à ces cinq grandes lignes, sur la ligne du Nord n'est pas même la dix-septième partie de la circulation : la différence non pas probable, mais certaine, s'explique par le transbordement. On ne voit pas sur le chemin de fer du Nord de wagons de la Compagnie du Midi; en doit-on conclure que les produits du Midi ne sont pas consommés dans le Nord? Ils y sont au contraire très-répandus.

Suppose-t-on qu'un petit chemin local, indépendant d'une grande ligne, sèmera son matériel sur tout le territoire aux conditions d'en retirer 2 francs par jour, pour compensation, au lieu de 10 à 12 francs qu'il doit retirer de chaque wagon; ou bien que ce chemin d'embranchement empruntera du matériel à la grande ligne; les deux hypothèses sont également inadmissibles.

La grande ligne a le même intérêt que la petite à l'activité de son matériel et ne consentira pas à le disséminer sur les mille petits embranchements de son réseau sans être armée de moyens de contrôle très-rigoureux ; l'usage local sera alors interdit expressément et le transbordement sera la conséquence obligée de cette interdiction.

Ces considérations démontrent que le moindre des arguments contre la voie réduite est le transbordement : loin de compliquer les manutentions, elle les simplifie. Cette objection est un fantôme, elle disparaît devant la lumière des faits.

M. Lejeune pense que M. Flachat a placé la question sur son véritable terrain. Il n'est point question de formuler une préférence pour la voie étroite. Le choix dépend des circonstances.

Les exemples de chemins de fer économiques avec voie étroite sont très-intéressants à étudier. La voie étroite paraît pouvoir être préférée pour desservir des mines ou des industries alors qu'il ne s'agit que du transport d'une seule marchandise.

On doit donc éviter d'arrêter un programme d'après quelques exemples cités.

Le but de la discussion doit être de mettre l'ingénieur en mesure d'opter en toute connaissance de cause selon les circonstances.

M. Lejeune croit que les chemins à construire doivent être divisés en deux catégories : les chemins départementaux et les chemins d'intérêts particuliers. Il ne croit pas que la voie étroite puisse être appliquée fréquemment et avantageusement pour l'économie de l'exploitation aux chemins départementaux dont le trafic probable rendra la création d'une utilité incontestable et de qui on exigera à peu près tout ce qu'on exige des grandes lignes.

Le point de départ de toute détermination est, selon M. Lejeune, l'évaluation des quantités à transporter et du nombre de trains à faire circuler pour assurer le service des voyageurs sans avoir à redouter les entreprises concurrentes. Si l'on veut exploiter économiquement, il faut réduire le parcours des trains au minimum et pouvoir transporter avec le nombre de trains déterminé voyageurs et marchandises. Le travail des trains étant connu, on en déduit l'effort de traction de la machine et par suite le poids du rail. Ces indications permettent en outre d'apprécier les sacrifices bien entendus que doit faire la construction pour ne pas dépasser une certaine limite d'inclinaison des rampes.

Si, en vue de réaliser exclusivement des économies dans la construction on adoptait la voie étroite, non-seulement pour diminuer la largeur du matériel et de la plateforme, mais encore pour diminuer le poids des machines et des rails, et si avec ce programme on adoptait enfin de fortes rampes, l'exagération du parcours des trains qui pourrait en résulter ne permettrait pas de servir d'intérêt au capital; dans bien des cas même l'exploitation ne couvrirait pas ses frais.

Il y aurait en outre de ce chef augmentation du nombre des machines.

L'inconvénient du transbordement acquiert d'autant plus de gravité que la ligne a moins de développement.

M. Lejeune s'est beaucoup occupé en 1865 du prix de la manutention dans les gares; il a fait prendre des attachements sur le chemin de l'Ouest, afin d'établir des prix par nature de marchandises. Les termes extrêmes de l'échelle sont :

Les *foins et pailles* dont le chargement a coûté.........	0f.70
— et le déchargement................	0 .41
Les *graines et farines* dont le chargement a coûté.......	0 .087
— et le déchargement.....	0 .064

Mais il est d'avis qu'il convient de comprendre dans les prix de manutention toutes les dépenses de personnel, de manœuvres, de bureaux, de surveillance et les frais généraux.

Dans ces conditions la dépense moyenne par tonne et par opération a été suivant l'importance des gares : gares hors classe 0 fr. 92 c. ; gares de première classe 0.34; de deuxième classe 0.32; de troisième classe 0.45; de quatrième classe 0.55. Dans

les gares de dernier ordre le prix dépasse même celui des gares hors classe. La moyenne générale a été de 0f.95.

Il se croit donc fondé à évaluer le prix du transbordement à 0f.70. Au point de départ la dépense sera au moins de 0f.50, soit en totalité 1f.20.

Si l'on suppose un chemin de 50 kilomètres et un parcours moyen de tonnes de 25 kilomètres et que l'on applique le tarif de 0f.10, on voit que la tonne produira 2f.50. Il faut en déduire déjà 1f.20 de frais fixes; il ne restera plus qu'un produit kilométrique de 0f.05 pour couvrir les frais de traction, les frais généraux et faire le service du capital. Ce prix serait insuffisant avec des chemins à fortes rampes et à machines de faible puissance, puisqu'on a vu sur des chemins de cet ordre la dépense kilométrique de la tonne s'élever à 0f.05.

D'ailleurs, les bestiaux, les fourrages, les bois de grande dimension, les bois taillis et beaucoup de marchandises chargées en vrac ne supporteraient pas le transbordement, et, par rapport aux lignes de transit, elles feraient pour l'éviter un grand détour sur les rails de la compagnie voisine.

Un autre inconvénient non moins grave de la voie étroite, consiste dans l'augmentation du matériel roulant pour un trafic déterminé. Déjà il faut à une petite compagnie relativement plus de wagons qu'à une grande. En effet, sur les lignes des grands réseaux un wagon de 10 tonnes transporte en quatre jours 3t.5 à 170 kilomètres. Sur une ligne de 50 kilomètres, par exemple, un wagon mettra autant de temps à transporter son chargement moyen à 25 kilomètres. Sur la voie étroite, le chargement moyen du wagon ne devant pas dépasser 2 tonnes à 2t.5, l'augmentation de matériel sera plus importante encore.

En appliquant ces données à un chemin de 50 kilomètres sur lequel la tonne parcourrait 25 kilomètres et qui produirait 3,000 fr. de recette brute par kilomètre, on arrive à un effectif de près de 200 wagons. Sur les grandes compagnies le même travail se ferait avec 50 wagons. Il faut encore tenir compte que ces chiffres ne se rapportent qu'à un mouvement quotidien moyen et ne répondent pas à l'époque de l'affluence des marchandises.

Avec la voie normale les grandes compagnies, dans un intérêt commun, auraient leurs wagons sur les petites lignes ; l'échange des wagons complétement chargés permet de faire faire à ce matériel de la petite compagnie un travail analogue à celui de sa voisine. Il y a donc sous ce rapport économie dans la dépense d'établissement du matériel.

M. Lejeune croit que le succès des chemins départementaux sera plus assuré si on charge les mêmes hommes de la construction et de l'exploitation.

Il termine en déclarant qu'il est important de réagir contre la tendance des départements à construire des chemins pour les faire exploiter par les grandes compagnies. Ces dernières ont encore une tâche très-lourde à remplir, et, si elles n'avaient pas la préoccupation d'être surchargées par les chemins départementaux, on obtiendrait assurément d'elles le concours le plus complet. Les chemins départementaux doivent vivre de leur propre vie.

M. le Président, vu l'heure avancée, lève la séance en faisant remarquer que la manière dont M. Lejeune surcharge les frais de transbordement proprement dits lui paraît contestable. On reviendra sur cette question.

Séance du 5 Juin 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 15 mai est adopté.

M. le Président annonce que M. Marco-Martinez, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de l'Ordre de Charles III d'Espagne.

M. le Président donne communication du résultat de l'exploitation transit et transports pour l'année 1867 et le premier trimestre de 1868 de l'Isthme de Suez, que M. Ferdinand de Lesseps a adressé à la Société.

Premier trimestre 1867....................	255,149f .67c
Deuxième —	262,754 .27
Troisième —	300,321 .56
Quatrième —	474,577 .35
Total des recettes pour 1867....	1,292,822 .85
Premier trimestre 1868....................	544,961 .85
Augmentation sur le trimestre correspondant..	289,812 .18

M. Ch. Callon demande la parole pour donner en quelques mots communication d'une lettre de M. Pichault, membre de la Société, relative à l'aviation.

M. Pichault résume dans sa lettre les résultats auxquels il est arrivé en étudiant le vol des oiseaux, c'est à-dire les conditions nécessaires pour rendre la navigation aérienne possible.

La conséquence directe de ce travail est de mettre en doute les résultats auxquels l'illustre Navier est parvenu et qui feraient de l'*Aigle* une machine de plus de 25 chevaux.

Après des considérations générales sur le vol des oiseaux, M. Pichault arrive à cette conclusion : Que le travail nécessaire à la suspension dans l'air est dans un rapport intime avec la surface de l'appareil aéromoteur, et d'autant plus petit que cette surface est plus grande; qu'il varie à peu près comme la puissance 3/2 du poids soulevé; enfin que ce travail peut être la dixième, la vingtième et même la centième partie de ce que supposait Navier.

M. Pichault, discutant alors l'appareil aéromoteur qui a l'hélice pour base, arrive à préférer à la disposition de deux hélices à rotation inverse, superposées sur un même axe vertical, les dispositions qui consistent dans l'emploi de deux, quatre, six ou un plus grand nombre d'hélices non superposées mais placées aux sommets de figures horizontales qui seraient des polygones d'un nombre de côtés égal à celui des hélices.

M. Pichault annonce que, dans le Mémoire détaillé joint à sa lettre, il montre que ce moyen produit un précieux accroissement de sécurité et de stabilité; il ajoute que le calcul l'a conduit à ce résultat, au moins curieux, qu'il y a un nombre d'hé-

lices donné correspondant au minimum de travail, et que ce minimum peut devenir de plus en plus petit à mesure que le poids strict de l'hélice est une plus petite fraction de la charge indépendante qui doit être soulevée.

M. Pichault fait encore remarquer que l'hélice à axe horizontal, qui avait été proposée pour produire la progression dans une direction donnée, n'est pas nécessaire, et qu'on peut arriver au même résultat par une simple inclinaison des hélices sur la verticale. Cette inclinaison peut être facilement obtenue par un léger déplacement du centre de gravité du système.

M. Ch. Callon, après avoir lu la lettre de M. Pichault et fait ressortir le vif intérêt qui s'attache aux résultats annoncés par notre confrère, exprime toutefois le désir que M. Pichault veuille bien prendre connaissance des travaux assez nombreux qui ont été récemment publiés sur l'*aviation*. Il cite comme exemple les mémoires publiés par M. N. Landur dans la *Presse scientifique des Deux-Mondes;* et il pense que cette revue, faite par M. Pichault lui-même doit précéder la discussion dans le bulletin de la Société.

M. Brull cite, à l'appui de ce que vient de dire M. Callon, les travaux de M. Devèze, dont un extrait a paru récemment dans le journal *les Mondes*.

M. le Président approuve la proposition de M. Ch. Callon, et le prie d'écrire dans ce sens à M. Pichault.

M. le Président fait part à la Société qu'il a reçu de MM. Eugène Flachat et Noisette une note sur l'application de l'asphalte coulée sur les planches des magasins et greniers de la Compagnie générale des Omnibus, pour empêcher la propagation de l'incendie. Cette note fort intéressante sera publiée *in extenso* dans le bulletin trimestriel.

M. Fellot donne communication de sa note sur une nouvelle machine à perforer les roches inventée par le capitaine Penrice.

Les différentes machines proposées ou essayées jusqu'à ce jour pour le percement des tunnels ou galeries de mines dans les roches dures reposent presque toutes sur l'emploi de la poudre au moyen de trous de mines nombreux et disposés, les uns pour déterminer, les autres pour limiter l'effet de l'explosion.

Les inconvénients qui résultent de l'emploi de la poudre sont : l'interruption du travail nécessitée par le bourrage, l'explosion des mines et l'enlèvement des débris, les dangers qui accompagnent toujours les explosions, l'ébranlement, dans quelques cas, des couches au delà des parois de la galerie, et comme conséquence la nécessité d'un boisement provisoire, la difficulté d'enlèvement de débris plus ou moins volumineux dans une galerie réduite et obstruée par les appareils, la production de gaz délétères dont l'effet ne peut être diminué qu'au prix d'une ventilation énergique, l'irrégularité et l'insuffisance de cette action dans des roches fissurées; enfin la dépense d'achat de la poudre devient un élément important du prix de revient.

Le nouveau perforateur se distingue par les caractères suivants :

1° Il supprime l'emploi de la poudre ; 2° il agit par percussion sur toute la section de la galerie en désagrégeant la roche par éclats; 3° les débris menus résultant de cette action sont rejetés mécaniquement à l'arrière de la machine; 4° son travail est continu.

Description. — Ce puissant appareil, monté sur un bâti solide en fonte, se compose essentiellement à l'avant d'une tête ou trépan se prolongeant à l'arrière par une

partie cylindrique en forme de piston, qu'actionne directement le fluide moteur dans un cylindre horizontal qui fait corps avec le bâti. Le trépan consiste en un plateau de forme circulaire, évidé en forme de croix de Malte, dont les secteurs pleins sont armés de lames d'acier taillées en biseau, qui se succèdent concentriquement et en retrait du centre à la circonférence. Son diamètre, qui détermine celui de la galerie perforée, est de 1m.83 pour le grand modèle et de 1m.52 pour le modèle de plus petite dimension. La partie formant piston présente 0m.710 de diamètre, et la course, qui est de 0m.05 en moyenne, peut atteindre 0m.100. La vitesse de marche normale est de 400 coups par minute.

Les faces de ce piston sont mises en communication : celle annulaire d'avant d'une façon permanente, avec l'admission du fluide moteur, et celle circulaire d'arrière, alternativement avec l'admission et l'échappement au moyen d'une soupape équilibrée qui se meut dans une boîte de distribution venue de fonte avec le fond du cylindre. Cette boîte est elle-même surmontée d'un petit cylindre à vapeur ordinaire avec sa distribution sur le côté. L'admission et l'échappement de ce cylindre sont distincts de ceux propres au cylindre du percusseur. La tige de son piston, après avoir traversé la boîte de distribution du grand cylindre, dont elle actionne la soupape, vient commander par son extrémité inférieure la rotation d'un arbre qui règne suivant l'axe du bâti et sur toute sa longueur. Cet arbre transmet son mouvement au moyen de pignons à vis et de roues hélicoïdales à trois autres arbres transversaux qui ont pour fonctions de transmettre le mouvement de rotation : le premier au trépan, qui tourne d'un mouvement lent à mesure qu'il frappe ; le second à deux galets latéraux et inclinés vers le centre de la galerie, dont les jantes larges et armées d'aspérités prennent sur les parois le point d'appui nécessaire pour la progression de la machine ; le troisième à des tambours disposés aux deux extrémités du canal que forme le bâti à sa partie inférieure et sur lesquels se développe une chaîne sans fin à palettes chargée de ramener à l'arrière les débris qui se produisent à l'avant. Tous ces mouvements sont munis d'embrayages facultatifs. Pour assurer une adhérence suffisante aux galets de progression, un troisième galet, disposé au-dessus des premiers, peut être serré contre le toit de la galerie par une vis dont l'action a pour mesure la flexion d'un ressort Brown interposé entre elle et le support du galet.

A l'avant, le bâti repose, par deux vis de réglage, sur un sommier qu'il entraîne avec lui, et qui épouse exactement la forme cylindrique de la galerie. Cette disposition permet d'obtenir la continuité de direction dans le percement.

Les admissions aux deux cylindres sont commandées par deux clapets distincts placés à la main du mécanicien qui règle leurs ouvertures suivant la vitesse et l'énergie qu'il veut imprimer aux coups. Une tringle avec des repères, régnant d'un bout à l'autre de la machine, lui donne les indications nécessaires pour régler la marche suivant les circonstances.

Enfin un tuyau en arc, percé d'une foule d'orifices, disposé immédiatement derrière le trépan et à sa partie supérieure, projette constamment sur la face d'attaque et les ciseaux une pluie d'eau froide.

Le poids total de la machine du grand modèle est de 14,500 kilogrammes, dans lequel le piston-trépan entre à lui seul pour 2500 kilogrammes. Cette dernière pièce ainsi que la plus grande partie des roues à dents hélicoidales sont en bronze, ce métal joignant la moindre élasticité à la plus grande résistance relative.

Une note très-détaillée sur la puissance de cette machine est déposée à la bibliothèque de la Société, et sera insérée dans le bulletin du deuxième trimestre.

M. Fellot informe la Société que des essais de cette machine vont être entrepris dans une carrière de Vaugirard, située près de la station de l'Ouest-Ceinture, à l'angle de croisement de ces deux lignes; et il invite les membres que ces essais pourraient intéresser à vouloir bien y assister. Les essais commenceront le jeudi 11 juin, et dureront jusqu'à la fin du mois de juillet.

M. le Président remercie M. Fellot de son intéressante communication, et ouvre la discussion sur les chemins de fer d'intérêt local.

M. Gottchalk adresse quelques renseignements sur les chemins de fer Norwégiens à voie étroite.

Ces chemins, dont le tracé se dirige de l'intérieur d'un pays de montagnes vers la mer, ont été exécutés sous la direction de Stephenson, et livrés à la circulation dès l'année 1854.

Le développement de la ligne principale est d'environ 90 kilomètres; la largeur de la voie est de $1^m.067$; leurs plus grandes rampes ne dépassent pas $0^m.024$, et le rayon de courbure minimum est de 235 mètres.

Les rails, de la forme Vignoles, pèsent 20 kilogrammes par mètre courant. Les traverses, demi-rondes, ont $1^m.70$ de longueur sur $0^m.20$ à $0^m.25$ de diamètre; elles sont espacées de $0^m.90$ en ligne droite, et de $0^m.80$ dans les courbes de moins de 600 mètres de rayon.

Les véhicules ont des roues de $0^m.762$ de diamètre.

Les caisses des voitures ont $2^m.10$ de largeur sur $6^m.10$ de longueur et peuvent contenir trente-deux voyageurs.

Les wagons à marchandises ont de $4^m.30$ à $7^m.30$ de longueur sur $2^m.10$ de largeur totale.

Les machines, construites par MM. Beyer, Peacock et Cie, sont à trois essieux, dont deux couplés.

Les roues motrices ont $1^m.144$ de diamètre. Ces machines pèsent 18 tonnes, dont 4360 kilogrammes sur l'essieu d'avant, 7000 kilogrammes sur l'essieu moteur, et 6640 sur l'essieu couplé.

Leur surface de chauffe est de $38^{mq}.70$; les caisses à eau, placées entre la chaudière, présentent une capacité de 1362 litres, et leurs caisses à charbon un volume de $0^{mc}.653$.

La vitesse moyenne de marche de ces machines est de 22 à 23 kilomètres à l'heure; les expériences ont été poussées jusqu'à la vitesse de 64 kilomètres.

Les dépenses de constructions des chemins ont été divisées en trois sections, suivant les difficultés du terrain, et ont coûté, dans chacune de ces sections, 48,800 fr., 74,000 fr. et 82,500 fr. par kilomètre.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Régnard pour la lecture de sa communication sur les chemins de fer belges à petite voie.

Cette communication est inserée *in extenso* dans le bulletin du premier trimestre, page 206.

M. le Président demande quelles étaient les raisons qui, au moment de la construction, ont milité en faveur de la petite voie.

Il demande également si M. Régnard a pu se procurer des renseignements sur le prix de revient du matériel roulant.

20

M. RICHARD trouve le prix de revient très-élevé pour un chemin dans la construction duquel on n'a rencontré que peu de difficultés.

M. RICHARD demande quelle est la nature des marchandises transportées.

M. RÉGNARD répond que les prix pour les voitures varient de 5000 à 7500 francs environ, et sont pour les wagons de 1800 francs. Les voitures ne diffèrent que très-peu de celles employées sur les lignes ordinaires.

Il ajoute qu'en 1842, lors de la construction, on a employé la petite voie par raison d'économie, et que, d'ailleurs, on n'était pas conduit à adopter la voie de 1m,50, par le voisinage d'autres lignes à cette époque.

M. RÉGNARD, répondant à M. Richard, ajoute que le prix élevé de la construction tient en grande partie à ce qu'il a fallu construire deux embarcadères avec estacades et travaux de défense, et un matériel pour la traversée de l'Escaut, comportant un bateau à vapeur et plusieurs chaloupes.

Les marchandises que l'on transborde sont principalement du charbon tout venant, ne subissant pas de déchets, des grains, des alcools, des sucres, des chanvres et des matériaux de construction.

M. RÉGNARD ajoute que, d'après les renseignements qu'il a pu recueillir, le déchet, qui ne s'élève qu'à 1/300 du produit brut des marchandises, ne porte pas pour 1/10 sur la station de Lokeren, qui a pourtant 1/3 du trafic, ce qui tient probablement à la nature des marchandises qui traversent cette gare, les pertes se rapportant aux petits objets, comme les articles de messagerie.

Un membre demande si le déchet produit par les transbordements par le passage de l'Escaut est compris dans le chiffre qui vient d'être cité.

M. RÉGNARD répond qu'il n'a donné que le chiffre qui s'applique aux transbordements entre les deux voies ferrées, ce chiffre lui semblant le seul avoir de l'intérêt dans la discussion pendante sur la petite voie.

M. LARPENT fait remarquer que le déchet qui vient d'être signalé n'est pas en rapport avec les frais d'exploitation, qui sont considérables.

M. RÉGNARD fait remarquer que, dans ce chemin, on porte à l'exploitation tous les frais d'entretien.

M. PRONNIER dit qu'il en est toujours ainsi, et que ce n'est que dans le cas d'une réfection de voie que l'on sépare cette dépense des frais ordinaires d'exploitation.

M. LE PRÉSIDENT fait observer à M. Régnard que le prix d'entretien de la voie lui paraît très-élevé, et en demande le motif.

M. RÉGNARD répond que le chiffre de 1986 francs par kilogramme lui a été fourni comme représentant les frais d'entretien et de surveillance, ces derniers fort importants, puisqu'il n'y a pas moins de 74 gardes de passages à niveau.

M. MALDANT fait remarquer qu'il serait intéressant d'avoir des renseignements sur la voie étroite, établie par la traverse du Mont-Cenis.

Dans ce cas, la petite voie était commandée par la difficulté de se placer à côté de la route, qui avait un côté très-sinueux.

M. RICHARD tâchera d'avoir des renseignements qu'il communiquera à la Société.

M. LELOUP demande la permission de lire une note dans laquelle il a cherché à établir les prix de revient des voies ordinaires et des voies étroites.

M. LELOUP a examiné les différents avantages que l'on a signalés en faveur de la voie étroite et compare dans tous ses détails la construction de deux chemins : l'un de 1m.50 de large et l'autre de 0m.75, c'est-à-dire moitié de la voie ordinaire.

Au point de vue de la largeur du terrain nécessaire et de la plus grande facilité d'installer la petite voie sur les chemins actuellement existants, M. Leloup trouve que cette considération a peu d'importance dans la plupart des cas, la réduction de largeur n'atteignant pas 1m.20.

M. Leloup ajoute que les rayons des courbes ne pourront jamais être diminués de plus de moitié, en admettant que toutes les dimensions du chemin et du matériel roulant soient réduites dans la même proportion ; mais il n'en sera généralement pas ainsi. La longueur des wagons, par exemple, ne pourra pas être réduite dans cette proportion, afin de ne pas trop diminuer la capacité du wagon.

M. Leloup admet que les rayons pour lesquels la voie de 1m.50 et celle de 0m.75 se trouveraient dans les mêmes conditions seraient à peu près dans le rapport de 300 à 200.

M. Leloup examine ensuite la question de l'acquisition des terrains. Il trouve qu'en comptant sur une diminution d'un mètre dans la largeur du chemin, les dépenses seront dans le rapport de $11 \times 1000 = 11000^{mq}$ à $10 \times 1000 = 10000^{mq}$.

Pour les terrassements, en supposant une hauteur moyenne de tranchées et de remblais d'un mètre et une largeur de 6 mètres en couronne avec la voie de 1m.50 et 5 mètres avec celle de 0m.75, le cube de déblai s'élève pour la grande voie à 4,125 mètres carrés et par la petite voie à 3,625 mètres carrés, dans lesquels 375 mètres carrés sont compris dans les deux cas pour fossés, chemins, etc.

M. Leloup fait ensuite remarquer que, pour les ouvrages d'art, la diminution ne portera que sur la maçonnerie d'intérieur et que l'on ne peut pas estimer à plus d'un dixième la diminution due à l'adoption de la voie étroite.

En ce qui concerne la voie, M. Leloup ajoute que la diminution ne peut porter que sur les traverses et le ballast ; les rails auront toujours à supporter, dans les deux cas, le poids de la machine, qui dépend du poids à transporter et non de la largeur de la voie.

Pour les traverses, la diminution ne peut porter que sur leur longueur, ces traverses devant porter le même poids dans les deux cas et devant durer aussi longtemps. On ne peut donc compter que sur une réduction d'un quart environ.

Le cube du ballast peut être estimé, dans les cas de la grande voie, à 1,875 mètres cubes par kilomètre et à 1,500 pour la petite voie.

M. Leloup fait remarquer que pour les voies accessoires, les changements de voies et les plaques tournantes, il peut être compté une réduction d'un dixième.

Diverses dépenses seraient les mêmes dans les deux cas. Les stations, le mobilier, l'outillage, les passages à niveau, les frais d'administration sont dans ce cas.

En ce qui concerne le matériel roulant, M. Leloup ajoute que, pour trafic donné, il coûterait plus cher avec la petite voie, mais que cependant la différence peut être négligée. M. Leloup a ensuite dressé le tableau suivant donnant les devis approximatifs de chemins construits à bon marché dans les deux systèmes.

				Prix d'établissement par kilomètre	
				avec la voie de 1m.50.	avec la voie de 0m.75.
		FR.	C.	FR.	FR.
1° Acquisitions de terrains..............	1ha.10 à	8000	»	8800	
	1ha.00 à	8000	»		8000
2° Terrassements.......................	4125m à	1	70	7012	»
	3625m à	1	70		6162
3° Ouvrages d'art				4000	3600
4° Voie. Rails, traverses, etc. Pose........				20000	19000
Ballast............................	1875mc à	3	»	5625	
	1500 à	3	»		4500
5° Stations. Mobilier et outillage. Terrains et terrassements....................				10000	10000
6° Voies accessoires des stations...........				4000	4000
7° Passages à niveau....................				2000	2000
8° Matériel roulant.....................				12000	12000
				73437	69262
9° Frais d'administration et de personnel...				7300	7300
				80737	76562
10° Intérêt du capital pendant la construction.				4037	3823
				84774	80385

En présence d'une aussi faible diminution dans les frais de construction, M. Leloup fait remarquer que l'intérêt et l'amortissement d'un capital qui n'est inférieur que de 5 p. 100 pour la voie étroite, seront au moins compensés par l'augmentation des frais de traction résultant du transport, à trafic égal, d'un poids mort plus considérable avec la petite voie qu'avec la voie ordinaire, frais auxquels il faut encore ajouter ceux nécessités par les transbordements.

M. Leloup se résume ainsi :

1° Dans les cas ordinaires, la voie étroite ne présente pas d'avantages ;

2° Elle ne pourrait en présenter que dans des cas particuliers assez rares et notamment dans les terrains très-accidentés.

M. le Président fait remarquer qu'il ne lui paraît pas contestable, d'après ce qui a été dit précédemment, que même dans les cas ordinaires la voie étroite ne puisse offrir des avantages sérieux. Quant aux calculs de M. Leloup, il croit qu'ils peuvent être et seront sans doute facilement contredits. Nous avons d'ailleurs des exemples de chemins à voie étroite d'une construction très-économique ; on n'en peut dire autant jusqu'à présent des chemins à voie de 1m.50.

MM. Barnoya, Dubuc, Dupuy, Grateau, Leblond, Maury, Nougaret, Quarré-Daligny, Sandberg et Max Thomas ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 19 Juin 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 5 juin est adopté.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 20 décembre 1867,

de	902
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	41
	943
A déduire par suite de décès pendant ce semestre	2
Nombre total des Sociétaires au 19 juin 1868	941

Les versements effectués pendant le 1er semestre 1868 se sont élevés à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc.	13,169 60	21,539 60
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable	8,370 »	
Il reste à recouvrer en cotisations et amendes		18,222 »
Total de ce qui était dû à la Société		39,761 60
Au 20 décembre 1867, le solde en caisse était de	4,546 91	26,086 51
Les versements effectués pendant le premier semestre de 1868 se sont élevés à	21,539 60	
Les sorties de caisse du semestre écoulé se sont élevées à :		
1° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.	13,804 10	23,239 95
2° Pour achat de 30 obligations nominatives	9,435 85	
Il reste en caisse à ce jour		2,846 56
dont 1,915 11 pour le service courant,		
et 931 45 pour le fonds social.		
Somme égale 2,846 56		2,846 56

La Société a en outre en portefeuille, sur son fonds social inaliénable, 342 *obligations nominatives de chemins de fer, ayant coûté*	102,951 55
Plus 12 *obligations au porteur sur le fonds courant, ayant coûté*	3,500 »
Total	106,451 55

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier ; ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au nom de la Société des remercîments à M. Loustau pour sa bonne gestion et son dévouement aux intérêts de la Société.

L'ordre du jour appelle la remise de la médaille d'or à l'auteur du meilleur mémoire inédit déposé à la Société pendant l'année 1867.

M. le Président rend compte du résultat de l'examen des mémoires présentés dans le courant de l'année. Ces mémoires ont été examinés par les quatre sections du comité ; deux d'entre eux ont été renvoyés à l'appréciation d'une commission composée du président et des quatre vice-présidents. Cette commission a décidé que la médaille d'or serait décernée, cette année, à M. Achille Le Cler, pour son mémoire sur l'endiguement et la mise en culture des polders de la baie de Bourgneuf (Vendée).

M. Laurent demande à présenter quelques observations sur la machine du capitaine Penrice, à la suite d'une expérience à laquelle il a assisté, le mercredi 17 juin.

La machine est bien telle qu'elle est décrite, et fonctionne bien; elle a battu, dans l'espace de cinq minutes, 1740 coups, l'avancement a été de 0m.05. Depuis le commencement de l'expérimentation (11 juin), les expériences successives, qui durent chacune cinq minutes, ont produit un avancement total de 1m.20 environ.

La roche est le calcaire grossier à cérites et assez dur. Il est donc incontestable que l'instrument est bon; mais nous avons retardé notre visite, espérant le voir entrer plus profondément dans sa galerie, et ayant accompli un travail d'une importance assez grande pour pouvoir constater les effets produits par les ébranlements subits, par les différents éléments qui composent cette machine.

Satisfaction ne nous a pas été donnée sur ce point. Nous croyons donc, tout en admirant la conception de cet engin, qu'il est prudent d'attendre qu'un travail plus soutenu ait confirmé les premiers résultats d'expérience.

Ces résultats confirment bien ce qui nous a été dit; mais ils ne correspondent en réalité qu'à un travail de deux heures.

M. Maldant dit qu'il a été voir fonctionner aussi le perforateur du capitaine Penrice, et qu'il s'associe complétement au regret qui vient d'être exprimé sur le peu d'importance du travail fait depuis le commencement des essais.

Indépendamment de ce que vient de signaler M. Laurent, M. Maldant fait observer qu'il est impossible de juger le travail d'ensemble du perforateur Penrice, sans qu'il soit engagé *complétement dans l'excavation* produite par le trépan. Ainsi, la longueur totale de l'appareil peut être de 3 à 4 mètres environ, et il y a, à sa partie *postérieure*, trois gros galets qui reçoivent, par la machine et à la main, des mouvements d'avancement dans le sens du travail et d'écartement sur les faces de l'excavation produite. Ces galets sont destinés à *faire avancer* le perforateur au fur et à mesure du travail produit, et à lui donner un *point d'appui* suffisant pour résister à l'énergique mouvement de recul que le travail du trépan tend à lui imprimer.

M. Maldant croit que lorsqu'on voit les formidables ébranlements produits par le perforateur en fonction, il est bien permis de douter de l'efficacité du fonctionnement des galets susdits; quant à lui, il lui semble presque inadmissible de supposer qu'ils rempliront le but auquel ils sont affectés.

Dans l'état actuel des essais, le recul du perforateur est empêché par un énorme verrin placé en *arc-boutant* à l'extrémité postérieure du bâtis.

M. Maldant croit donc qu'il faudrait attendre des essais *plus concluants* avant de se prononcer définitivement sur cette machine.

M. Tresca n'a pas encore vu cette machine; mais il a remarqué l'année dernière à l'Exposition la machine de M. le capitaine Beaumont, qui se composait d'une série de trépans disposés sur une couronne circulaire, et qui n'entamait la roche qu'au pourtour du bloc à enlever, tandis que la machine du capitaine Penrice pulvérise toute la roche, ce qui ne paraît pas économique.

M. Tresca a recueilli quelques données sur les applications qui ont été faites de la machine Beaumont. Elle fonctionnait très-bien; mais dans le terrain assez peu résistant sur lequel elle a été essayée, le travail coûtait plus cher qu'à bras d'homme; elle paraît surtout convenir aux terrains de médiocre dureté.

On ne se fait pas toujours une juste idée de la détérioration des outils dans ces sortes de machines à choc; M. Tresca a visité les travaux du mont Cenis, et il peut

assurer que si la machine en travail occupe peu de place, il n'en est pas de même des ateliers de réparations, qui atteignent certainement les proportions de ceux d'un chemin de fer important.

UN MEMBRE, répondant à M. Tresca, fait observer qu'il a vu cette machine, et qu'elle ne pulvérise pas la roche, elle enlève des éclats; à son avis, cette machine doit rendre de grands services à bien des points de vue :

1° Ne nécessitant pas l'emploi de la poudre, elle rend la ventilation beaucoup plus commode ;

2° Les terrains traversés pouvant par hasard donner des minerais quelconques, la machine fait elle-même un premier travail de bocardage, qui a une certaine valeur.

M. TRESCA fait observer que, tel qu'il l'a entendu, le fractionnement de la roche ne la réduit pas nécessairement en poudre fine; il suffit qu'elle soit tout entière réduite en fragments pour que son objection soit prise en sérieuse considération.

La machine de M. Beaumont n'opérait que sur une petite partie de la section du tunnel à percer, tandis que la machine Penrice agit sur toute la section; il est difficile de croire que ce mode de fonctionnement ne détermine pas une dépense de travail trop considérable.

M. LAURENT fait observer que, dans le compte rendu de la machine du capitaine Penrice, il a été dit que l'eau avait une certaine influence sur la désagrégation.

M. LAURENT ajoute que les trépidations exercent une action bien autrement considérable, en faisant tomber et éclater la roche que l'on attaque.

M. MALDANT partage complétement l'opinion de M. Tresca; il croit que, sans établir de discussion plus ou moins subtile sur le mot de *pulvérisation* de la masse, c'est bien, en effet, une pulvérisation totale qu'il faut demander au perforateur du capitaine Penrice.

Ainsi, dans la machine actuelle, les couteaux du trépan sont disposés de façon à ce que toutes leurs *tranches* avancent dans le sens de la longueur de ces tranches, en décrivant des lignes minces ou circonférences concentriques autour du centre d'attaque du trépan.

M. MALDANT croit que dans bien des cas de roches granitiques, de terrains métallifères et autres, ce mode d'action des couteaux serait impuissant à obtenir la désagrégation de la masse, et qu'on serait obligé alors d'arriver à changer la disposition des tranchants pour pouvoir obtenir la pulvérisation réelle, et presque sans éclats, de quelque importance.

Dans les essais actuels, le terrain attaqué se prête très-bien à l'action du trépan; c'est un terrain calcaire peu résistant et dont la désagrégation est singulièrement facilitée par la projection énergique de nombreux *jets d'eau* sur la surface d'attaque.

M. LE PRÉSIDENT trouve très-justes toutes les observations précédentes, et il ajoute qu'une discussion pourra avoir lieu sur cette machine, lorsqu'on connaîtra exactement ce qu'elle peut produire.

M. MALDANT donne communication de l'analyse qu'il a faite du mémoire de M. Barret, ingénieur des docks et entrepôts de Marseille, sur son système de chaudières à vapeur.

La première partie de ce mémoire contenant un examen critique des différents systèmes de chaudières, nous pensons qu'il suffit de faire connaître à la Société les nouvelles dispositions des chaudières qui font l'objet de cette communication.

M. Barret déclare s'être proposé :

1° De conserver les formes *extérieures* des chaudières actuelles pour rendre leur transformation facile et peu coûteuse ;

2° De rendre toutes les parties de ses générateurs facilement *accessibles* ;

3° D'établir mécaniquement des *courants* énergiques et continus dans toutes les parties chauffées ;

4° De n'avoir que des surfaces de chauffe *directes*.

Pour essayer de résoudre ce problème, M. Barret a donc eu à faire varier les formes ou les dispositions qui constituent plus spécialement ses procédés, selon les formes extérieures qu'il désirait ménager.

De là diverses formes de chaudières, décrites dans son mémoire, pour s'appliquer à la marine et aux installations de terre, fixes ou mobiles.

M. Barret commence par décrire son type de chaudière marine, dont les explications générales peuvent s'appliquer d'ailleurs aux autres types.

Dans l'emplacement des tubes horizontaux, il établit des *carneaux longitudinaux* à faces entretoisées, et dont le ciel soutient des *tubes pendantifs* légèrement coniques. La forme *conique* a pour but de faciliter le *démontage* des tubes et leur *circulation* intérieure.

Chaque tube est muni à l'intérieur d'une *lame* mobile *plane* ou *courbe*, s'arrêtant à quelque distance du fond, et divisant la masse d'eau en deux parties à peu près égales, et dans un sens *perpendiculaire au courant de flamme*.

Le courant *ascendant* s'établit naturellement dans la moitié du tube qui fait face à la flamme et le courant d'eau *descendant* s'établit du côté opposé.

La rapidité de la circulation ainsi obtenue, dit M. Barret, est telle que tous les dépôts sont entraînés et rejetés hors des tubes.

Quand les tubes sont *directement* au-dessus du foyer, la lame mobile est *courbe*, et le courant descendant s'établit dans son *intérieur* qui correspond à une moins grande surface chauffée du tube pendantif.

Indépendamment des avantages de ce système de tubes, qui remplace par une surface de chauffe *directe* et une énergique *circulation*, les circulations gênées et les surfaces indirectes des tubulures horizontales ordinaires, M. Barret complète ses applications par un ensemble de *diaphragmes* intérieurs destinés à donner à l'eau ses *directions*, et à régler et activer ainsi sa circulation.

Les tubes du système Barret sont assemblés dans leurs plaques tubulaires au moyen de bagues en acier, et ils ont un léger bourrelet extérieur : le fond de la bague ne dépasse pas sensiblement le dessous de la plaque à tubes. Avec cette disposition, la pression intérieure tend à bien appliquer le tube sur la surface de l'orifice tubulaire ; et le démontage du tube devient facile, car celui-ci *adhérant plus à sa bague* qu'à la plaque tubulaire (quand la pression a disparu), s'enlève tout entier au moyen d'un outil très-simple qui le tire par le dessous de sa bague.

M. Barret adopte aussi, pour ses tubes, la disposition en *quinconce*, brisant les directions de la flamme ; disposition recommandée par Howard, comme augmentant notablement la production.

Les deux applications qui représentent spécialement le système de M. Barret, consistent donc dans les *lames* intérieures qu'il place dans les tubes et dans les diaphragmes qu'il place dans les autres parties des générateurs.

A côté de la chaudière marine, précédemment indiquée, M. Barret donne la disposition d'une chaudière verticale, dans laquelle il place horizontalement ses tubes.

Enfin il indique, dans les diverses planches de son mémoire, des types de chaudières marines, de chaudières fixes et de chaudières de locomotives; puis il termine en publiant les résultats des expériences faites avec une chaudière marine de son système, dont il donne également le dessin et les principales dimensions.

Sans vouloir entrer dans l'examen complet et très-détaillé des chiffres et des expériences cités, et que chacun pourra trouver dans le mémoire lui-même, M. Maldant les résume ainsi :

La chaudière d'essai en question a :

Une surface de chauffe totale de..........	$28^{m2}.400$
Un volume d'eau de......................	$3^{m3}.776$
Un volume de vapeur de.................	$1^{m3}.660$
Un timbre de...........................	3 ath.
Un poids total de......................	7000^{k}

Les expériences indiquées paraissent avoir été faites avec un grand soin, et donnent les résultats suivants :

1° La chaudière allumée, avec sa partie supérieure *enlevée* pour apercevoir les ébullitions, a montré que l'ébullition commençait quinze minutes après l'allumage dans les tubes placés au-dessus du foyer, cinq minutes plus tard dans les tubes les plus éloignés, et cinq minutes plus tard encore dans les parties non tubulaires.

Tous les courants prévus par l'auteur se sont effectués rapidement, sans intermittences et sans projections d'eau.

2° Après les expériences de *circulation*, la chaudière a été rivée et essayée à la manière ordinaire, en plein air et sans enveloppe.

Les résultats moyens ont été les suivants :

Temps pour monter en pression.................	30 minutes.
Quantité de charbon brûlé......................	500^{kgs}.
Quantité d'eau vaporisée.......................	4400^{kgs}
Eau vaporisée par kilog. de charbon............	$8^{kgs}.80$
— par heure et par mètre carré......	$37^{kgs}.79$
Température de l'eau d'alimentation............	12°
— des gaz dans la cheminée...........	525 à 575°

La qualité du charbon employé dans cet essai a été reconnue *inférieure.*

Ces résultats ont été reconnus supérieurs à ceux constatés dans les chaudières ordinaires les plus perfectionnées, et cette supériorité est ainsi définie dans le mémoire de M. Barret :

Quantité d'eau vaporisée *par kilogramme* de charbon, 8 p. 100 environ en faveur de la chaudière Barret.

Quantité d'eau vaporisée *par mètre carré* de surface de chauffe, 18 p. 100 en faveur de la chaudière Barret.

M. Barret fait observer que ces résultats favorables ont été obtenus avec une chaudière d'essai *mal construite*, ayant ses tubes placés en *ligne droite*, et non en quinconce, ce qui explique la température considérable et perdue de 575 degrés, emportée par les gaz dans la cheminée.

Pour remédier en partie à ces inconvénients et en mesurer approximativement l'importance, on plaça un *obturateur* dans la cheminée pour retenir la flamme plus

longtemps en contact avec la surface de chauffe, et on obtint, pendant trois jours, de nouveaux essais, les moyennes suivantes :

Temps pour monter en pression..................	36 minutes.
Charbon brûlé................................	500kgs
Eau vaporisée................................	4625kgs
— par kilog. de charbon...............	9kgs.25
— par mètre carré et par heure.........	35kgs.40
Température de l'eau d'alimentation..............	9°
— des gaz dans la cheminée............	350 à 400°

M. Barret semble donc fondé, en s'appuyant sur cette dernière série d'expériences, à dire que son système de chaudières, lorsqu'il aura subi les transformations et les modifications de détail qu'amène l'expérience, présentera de notables avantages sur les anciens systèmes avec lesquels il a établi ses comparaisons.

M. Maldant termine en faisant remarquer qu'il s'est borné, dans ce rapide exposé, à présenter une analyse seulement du mémoire de M. Barret, sans entrer dans l'examen ou la discussion de ce qui peut, ou non, être considéré comme une *invention* ou une *nouveauté*, dans les applications faites par M. Barret.

M. Rouyer fait remarquer que la production de 9kgs.25 de vapeur par kilogramme de combustible, constatée par l'auteur du mémoire dans des expériences, n'a rien d'extraordinaire et que, sans employer des moyens aussi compliqués et des forces aussi grandes, les générateurs que construisent la Compagnie de Five Lille et la maison J.-F. Cail et Ce produisent couramment, en marche normale, de 9 kilgs. à 9kgs.50 de vapeur.

M. Farcot demande comment peut fonctionner la chaudière Barret ; il pense qu'il doit y avoir un appendice quelconque au haut du tube pour former entonnoir, sans quoi les tubes se brûleraient, ainsi que cela a eu lieu dans la chaudière Perkins.

Il est donné lecture d'une note de M. Deloncħant sur la construction et l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local.

Au moment où a eu lieu la discussion sur la construction et l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local, M. Deloncħant pense qu'il est utile de rappeler à la Société le mémoire qu'il a lu dans la séance du 17 octobre 1862, et d'ajouter quelques notes qui compléteront sa première communication.

Le chemin de fer dit américain est aujourd'hui dans le domaine public et par conséquent chacun est libre d'en faire usage.

Ce système a subi depuis son introduction en France de notables améliorations qui en font maintenant le type le plus économique connu comme construction et comme entretien.

Le spécimen qui appartient aujourd'hui à la Compagnie générale des omnibus se développe sur quatre parties de route très-différentes sous le rapport de la circulation étrangère et pour chacune desquelles des comptes particuliers sont tenus. Nous n'avons donc à nous occuper que de la voie placée sur la route départementale no 1, entre les fortifications et le rond-point de Boulogne, et sur laquelle la circulation ordinaire est de 529 colliers par 24 heures, ce qui donne un mouvement qu'on rencontrera rarement sur une route de province.

Le prix d'établissement de ces voies, suivant qu'on adoptera un rail du poids par mètre courant de 16, 19 et 23 kilogrammes, coûte dans Paris 18,450 fr., 19,810 fr., 22,490 fr.

Sur cette route départementale n° 1 dont la longueur est de 2 kilomètres, une des deux voies, mal établie à l'origine d'après le type américain, date de 1854; elle est encore en assez bon état de service aujourd'hui ; mais elle a donné lieu à d'assez fréquentes réparations.

La deuxième voie, établie en 1860 et modifiée, est aujourd'hui, après huit ans d'exploitation, dans le meilleur état de conservation; les bois eux-mêmes ne portent aucune trace d'altération. Elle n'a jusqu'à présent donné lieu qu'à une dépense de 40 fr. sur une longueur de 2 kilomètres, pour le remplacement de quelques boulons dont la tête a été rompue. (2 fr. 50 par an et par kilomètre.)

Il résulte donc d'une expérience d'une si longue durée qu'une voie bien établie dans des conditions identiques à celle qui vient d'être citée, ne coûterait en quelque sorte que les frais de surveillance et de nettoyage, soit tout au plus une somme de 300 fr. par an et par kilomètre, si, conformément à la justice, le concessionnaire n'était pas tenu (au lieu d'une subvention sur laquelle il devrait souvent compter), d'entretenir à ses frais une surface de la chaussée égale au cinquième de la largeur de la route, quoique la circulation sur les rails diminue nécessairement le nombre des voitures ordinaires, et par suite la dépense d'entretien de la chaussée.

Ce chapitre de dépense, très-considérable dans l'intérieur de Paris, n'est ici que de 430 francs par an et par kilomètre, pour fourniture et main-d'œuvre. Il n'y a pas lieu avec les tendances actuelles de supposer que les voies à concéder à l'avenir soient grevées d'une charge qui doit continuer à incomber à l'administration.

Alors la dépense d'entretien par an et par kilomètre doit être établie comme suit pour un rail de 19 kilogrammes, calculé sur une durée de 20 ans au terme desquels le vieux fer produira une somme de 2,880 francs à déduire du coût de la voie, les vieux bois payant le prix de la dépose.

Amortissement 1/20e 19,810—2,880	846 fr.
Nettoyage et surveillance	300
Petit entretien et divers..........................	20
	1,166 fr.
Et si à cette somme on ajoute les intérêts à 6 pour 100 du coût de 19,800, soit........................	1,188
On aura par an et par kilomètre...................	2,354 fr.

Les avantages d'une voie ferrée à niveau du sol consistent :

1° Dans l'économie des frais d'établissement qui n'entraînent aucune autre dépense que celle des matériaux d'établissement et celle de leur pose;

2° Dans une durée considérable avec un entretien presque nul;

3° Dans la faculté de laisser à l'usage commun, excepté au moment du passage d'un train, la largeur entière de la route;

4° Et enfin de pouvoir admettre aussi bien que tout autre système de rails, la traction par machines, car si les locomotives routières sont acceptées sur le sol des routes, pourquoi ne le seraient-elles pas sur les mêmes routes munies de rails non saillants.

On peut considérer un rail sur route comme un rail sablé, d'où l'effort de la traction devient 6kgr.7 par tonne; cet inconvénient est en partie racheté par une plus grande adhérence, qui, à de très-rares exceptions, est du tiers du poids moteur.

Si donc on établit une voie ferrée sur une route dont la plus forte rampe soit de

0.04, le plus grand effort à exercer sera de 46kg.7 par tonne, et un train du poids brut de 50 tonnes compris machine, exigerait un poids d'adhérence de

$$46^{k}.7 \times 50^{t} \times 3 = 7{,}005 \text{ kilogrammes};$$

et comme une machine de la force de 22 chevaux nécessaire pour mouvoir ce train à la vitesse de 18 kilomètres à l'heure pèsera de 14 à 16 tonnes, on pourrait ne faire usage que de deux roues motrices du même côté, ce qui, avec un empatement de 1m.50 seulement, faciliterait singulièrement le passage dans les courbes, les deux roues du côté opposé étant folles, avec faculté de les rendre fixes à un moment donné, ce qui pourrait devenir nécessaire en temps de brouillard ou dans des parties où la rampe dépasserait 0.04.

Il n'est pas nécessaire, pour arriver à une solution pratique, à moins de courbes d'un rayon très-réduit, de chercher une combinaison nouvelle dans la machine. La locomotive actuelle à quatre roues couplées, ayant de 20 à 25 mètres de surface chauffe, suffirait à ce service, à la condition d'employer une détente variable dans toutes limites, afin de pouvoir réduire ou augmenter la vitesse suivant l'inclinaison des rampes, en n'employant toujours, dans le même sens, que la quantité de vapeur que la chaudière sera en état de fournir.

La vitesse qui, à niveau, sera de 5 mètres par seconde, sera forcément réduite sur une rampe de 0.04 à 0.07, pour peu que cette rampe soit assez longue pour avoir annulé la vitesse acquise précédemment, et il est probable qu'avec toute l'intelligence dans la conduite du feu que l'habitude de la route aura donnée au mécanicien, la même machine pourra atteindre, dans ces rampes, une vitesse plus grande.

NOTES

SUR LES EXPÉRIENCES DE TRACTION

DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(1857 à 1866.)

PAR M. **V. FORQUENOT.**

Les expériences de traction exécutées au chemin de fer d'Orléans ont été commencées par M. C. Polonceau en 1857, et continuées depuis lors pour compléter l'étude des questions qui intéressent la détermination des charges à remorquer sur un profil quelconque pour une locomotive donnée.

Les méthodes d'expérimentation employées sont les suivantes :

On ne s'est jamais servi que du dynamomètre. La méthode des plans inclinés, ainsi que celle qui consiste à lancer les véhicules à une certaine vitesse et à suspendre brusquement l'action du moteur pour laisser les véhicules s'arrêter au bout d'un chemin que l'on mesure, présentent de grandes difficultés, et nécessitent différents calculs assez compliqués.

On a fait les expériences, la plupart du temps, avec un seul dynamomètre, parfois cependant avec deux dynamomètres, mais dans des circonstances tout à fait particulières; ainsi quand il s'agissait de comparer deux matériels, on formait un train unique dont chaque moitié composée du matériel à étudier était précédée d'un dynamomètre. Cette dernière méthode n'a été employée depuis 1862 que pour des cas spéciaux, à cause des irrégularités qui ont été souvent constatées.

Lorsqu'au contraire les expériences portaient sur un matériel déterminé qu'il fallait étudier dans des conditions variables, on se contentait d'un seul dynamomètre.

On obtient l'effort de traction correspondant à une vitesse donnée par trois moyens :

1° En totalisant le travail enregistré par le dynamomètre et en le divisant par le chemin total parcouru. Cet effort est ainsi rapporté à la vitesse moyenne du train.

2° En prenant les points du trajet où la vitesse peut être considérée comme constante pendant un parcours assez long, par exemple, 3 ou 4 kilomètres. La moyenne des efforts observés pendant ce temps donne

l'effort correspondant à cette vitesse constante. Mais ce moyen présente certaines incertitudes par rapport à la constance de la vitesse, car l'on mesure la vitesse à l'aide du temps employé pour parcourir un kilomètre; on n'obtient donc ainsi que la vitesse moyenne pendant 1 kilomètre, et non les variations partielles de vitesse qui peuvent se produire.

3° En considérant le travail accompli depuis l'instant où l'on observe une certaine vitesse jusqu'à l'instant où la même vitesse se présente de nouveau. La variation de puissance vive étant égale au travail des forces qui la produisent, il s'ensuit que lorsqu'on est parti d'une vitesse initiale pour revenir à cette même vitesse initiale, le travail accompli pendant ce temps est nul. Or ce travail est celui des excès et des pertes de force qui empêchait la vitesse d'être constante. On peut donc considérer l'effort de traction et la vitesse pendant le trajet comme étant restés constants; seulement cet effort de traction est la moyenne des efforts constatés, et la vitesse est également la moyenne des vitesses qui se sont succédé. On obtient ainsi l'effort qui correspond à la résistance du train pour la vitesse moyenne du trajet entre les deux instants considérés.

Seulement il est difficile d'obtenir exactement la vitesse moyenne, par la raison qu'on ne sait jamais au juste la distance qui sépare les deux points du trajet où la vitesse est la même. En tout cas, le moyen est approximatif.

Des trois moyens énumérés ci-dessus, le premier est le meilleur, quand la vitesse d'un train ne varie pas dans de grandes limites, et quand les arrêts ne sont pas fréquents. Les arrêts sont une cause d'erreur, puisqu'ils nécessitent l'emploi de freins, et qu'une partie de la puissance vive, au lieu d'être restituée au train, est absorbée par le frottement de glissement des roues sur les rails.

Il est bien entendu que lorsqu'on veut obtenir l'effort de traction en palier, il faut diminuer ou augmenter l'effort total de la résistance due à la gravité sur les différents profils en rampe ou en pente.

Nous allons indiquer successivement les résultats des expériences destinées à déterminer les différentes influences qui peuvent modifier la résistance du matériel à la traction.

1° Dimensions des fusées et des roues;
2° Longueur des convois;
3° Chargement;
4° État des rails;
5° Nature du graissage;
6° Influence de la température;
7° Rampes et pentes;
8° Mode d'attelage;
9° Surface des wagons. Intensité du vent;
10° Influence de la vitesse. Courbes.

I. Dimensions des fusées et des roues.

Pour étudier l'influence des dimensions des fusées, à diamètre de roues égal, on a pris :

1° 15 wagons Orléans à fusées de 155 sur 80 et
15 id. id. à fusées de 102 sur 60.
(Dans les deux cas, graissage à la graisse et roues de 1 mètre.)
(11 août 1857. Paris à Etampes et retour.)
Vitesse de 25 kilomètres.

Fusées de 155 *sur* 80.	*Fusées de* 102 *sur* 60.
Effort par tonne en palier, $3^{kg}.15$.	Effort par tonne en palier, $2^{kg}.98$.

2° 6 wagons Orléans à fusées de 150 sur 72, et
6 id. id. à fusées de 102 sur 60.
(Dans les 2 cas, graissage à la graisse et roues de 1 mètre.)
(17 septembre 1857. Paris à Étampes.)
Vitesse de 50 kilomètres.

Fusées de 150 *sur* 72.	*Fusées de* 102 *sur* 60.
Effort par tonne en palier, $5^{kg}.30$.	Effort par tonne en palier, $5^{kg}.05$.

3° 6 wagons Orléans à fusées de 150 sur 72, et
6 id. id. à fusées de 102 sur 60.
(Dans les 2 cas, graissage à la graisse et roues de 1 mètre.)
(23 août 1858. Paris à Guillerval.)
Vitesse de 50 kilomètres.

Fusées de 150 *sur* 72.	*Fusées de* 102 *sur* 60.
Effort par tonne en palier, $4^{kg}.00$.	Effort par tonne en palier, $3^{kg}.90$.

4° 12 voitures Orléans à fusées de 150 sur 72, et
12 id. id. à fusées de 102 sur 60.
(Dans les deux cas, graissage à la graisse et roues de 1 mètre.)
Vitesse de 37 kilomètres.

Paris à Corbeil et retour.	Paris à Corbeil et retour.
8 et 9 octobre 1855.	28 et 29 septembre 1855.
Fusées de 150 *sur* 72.	*Fusées de* 102 *sur* 60.
Effort par tonne en palier, $5^{kg}.83$.	Effort par tonne en palier, $5^{kg}.63$.

Observations. — Les chiffres d'effort par tonne ci-dessus, en palier, ne présentent pas de gradation par rapport à la vitesse. Il faut s'attendre à des anomalies pareilles quand on considère des expériences dynamo-

métriques qui diffèrent dans leurs éléments, surtout dans le cas du graissage à la graisse.

Mais ce qu'il importe de déterminer, dans la série d'expériences ci-dessus, c'est le rapport des valeurs obtenues pour les efforts par tonne correspondant aux fusées de 102 sur 60 et pour ceux correspondant aux fusées de 150 sur 72 ou de 155 sur 80.

Ces rapports sont les suivants :

$$1^{re} \text{ Expérience } \frac{2^k.98}{3^k.25} = 0.94.$$

$$2^e \text{ Expérience } \frac{5^k.05}{5^k.30} = 0.95.$$

$$3^e \text{ Expérience } \frac{3^k.90}{4^k.00} = 0.97.$$

$$4^e \text{ Expérience } \frac{5^k.63}{5^k.83} = 0.97.$$

Moyenne des 4 Expériences. . . . . 0.96.

On voit par là que le frottement dans les boîtes à graisse augmente avec l'étendue des surfaces en contact, mais l'augmentation du frottement est moins rapide que celle de l'étendue.

Le chiffre 0.96 indique que sur une voie en palier, 19 wagons à grosses fusées exigent le même effort de traction que 20 wagons à petites fusées, le poids moyen des wagons étant le même dans les deux cas. Dans les rampes, cette influence des fusées est moins sensible, à cause de la constante due à la gravité, qu'il faut ajouter à l'effort par tonne en palier.

Ainsi en rampe de 15, le rapport $\frac{5^k.05}{5.30} = 0.95$ deviendrait

$$\frac{15 + 5.05}{15 + 5.30} = 0.99.$$

Ce dernier rapport se traduit par une différence de 1/4 wagon sur 25 wagons, ce qui est insensible en pratique.

Mais en définitive, il y a toujours avantage à s'en tenir aux fusées les plus petites en conservant pour limites la résistance du métal et l'influence du poids par centimètre carré, qui ne doit pas aller jusqu'au grippage.

Pour étudier l'influence du diamètre des roues, à égalité de fusées, on a pris :

15 wagons Orléans à roues de $1^m.200$ et
15 id, id. à roues de 1^m.

(Dans les 2 cas, graissage à la graisse, fusées de 155 sur 80.)

(25 juillet 1857. Paris à Guillerval.)

Vitesse de 23 kilomètres.

Roues de 1^m.200.	*Roues de* 1^m.
Effort par tonne en palier, 2^k.90.	Effort par tonne en palier, 3^k.30.

Le rapport des 2 efforts est $\frac{2^k.90}{3^k.30} = 0.90$.

On voit que l'avantage est du côté des grandes roues ; ce résultat était du reste évident *à priori*, puisqu'à vitesse égale, le travail de frottement dans leurs boîtes à graisse est moindre.

L'avantage constaté ci-dessus correspond, en palier, à une différence de 10 wagons sur 100 ou de 5 wagons sur 50.

Un grand nombre d'expériences faites sur des wagons à marchandises du Midi, à roues de 0^m. 900, ont toujours accusé un tirage par tonne supérieur à celui du matériel d'Orléans à roues de 1^m. Il est vrai que la plupart des wagons du Midi étaient graissés à la graisse, tandis que ceux d'Orléans l'étaient à l'huile.

Cependant, comme, dans certains cas, un graissage à la graisse bien soigné peut donner des résultats comparables à ceux du graissage à l'huile, on peut en conclure que la différence constatée entre les deux matériels était due en partie au diamètre des roues.

II. — **Longueur des convois.**

La longueur des convois exerce une influence très-marquée sur l'effort de traction. Ainsi, de deux trains de tonnage égal et formés de même matériel, le plus dur à remorquer sera le plus long.

Le fait s'explique par le mouvement d'ondulation des wagons dans les alignements, par le frottement des roues dans les courbes et par les résistances de l'air.

Lorsque tous les véhicules d'un train roulent avec la même facilité, c'est-à-dire exigent séparément le même effort de traction par tonne, un dynamomètre placé en tête du train indique un effort par tonne supérieur à celui indiqué par un dynamomètre intercalé dans le milieu même du train ; la différence entre les deux indications est d'autant plus sensible que le nombre des véhicules est plus considérable.

Mais lorsque le matériel placé à l'arrière d'un train exige un effort par tonne plus grand que celui placé à l'avant, il peut se faire que le dynamomètre remorquant tout le train accuse un effort par tonne égal ou inférieur à celui accusé par le dynamomètre remorquant le matériel de queue.

Il ne faut donc pas s'attendre à voir toujours le dynamomètre de tête indiquer des efforts par tonne supérieurs à ceux du dynamomètre de queue. Mais dans tous les cas, l'effort par tonne du dynamomètre de tête sera toujours supérieur à la moyenne arithmétique des efforts par tonne

qui seraient accusés *séparément* par les deux moitiés du train. C'est ce dernier fait qui démontre pratiquement l'accroissement du tirage avec la longueur du convoi.

Nous avons à citer à ce sujet l'expérience suivante :

Train spécial de Paris à Niort et de Niort à Paris. (Juillet 1857.)

Parcours total, aller et retour 820 kilom. Courbes de 1,000^m.
1re moitié du train : 16 wagons Orléans.
2e id. : 16 id.

Chacune de ces moitiés était précédée d'un dynamomètre.

Chacune était composée de matériel de même nature, savoir : 8 plate-formes et 8 wagons couverts.

(Graissage à la graisse.)

Tonnage de la moitié de tête (dynamomètre compris)
155^t.480.

Tonnage de la moitié de queue (dynamomètre compris)
161^t.490.

On voit que les 2 tonnages sont à peu près égaux.

Moyenne des résultats.

Effort par tonne :	dynamomètre	de tête	4^{kg}.18
id. :	id.	de queue	3^{kg},75

(En palier, vitesse moyenne 24 kilomètres.)

Les deux moitiés du train, étant composées de même façon, auraient accusé sensiblement le même effort ; la différence des indications des deux dynamomètres provient de la longueur du train.

Pour passer du dynamomètre de queue à celui de tête, l'effort par tonne a augmenté de 0^{kg}. 43 en moyenne.

Dans le passage des courbes, l'influence du nombre des véhicules peut devenir plus considérable encore, suivant la vitesse et suivant le rayon de ces courbes.

Voici quelques expériences qui rendent le fait très-sensible.

INCLINAISONS et COURBES.	DATE 1859.	VITESSE en KILOMÈTRES.	TONNAGE.	GRAISSAGE.	NOMBRE de VÉHICULES.	EFFORT moyen PAR TONNE.
			tonnes.			kilgs.
Montauban	10 avril.	32	168.7	Huile et graisse.	15	5.74
à Viviez.	14 —	36	165.0	Huile.	15	5.40
$R = 350^m$.	16 —	32	140.8	Huile et graisse.	14	6.06
$i = 5^{mm}$.	21 —	33	90.5	Huile.	19	7.81
Viviez						
à Auzits.	10 avril.	19	93.2	Huile.	15	17.80
$R = 350^m$.	14 —	23	93.3	Huile.	15	17.79
$i = 15^{mm}$.						
Capdenac						
à Villeneuve.	20 avril.	25	218.0	Huile.	24	12.55
$R = 350^m$.	24 —	25	122.7	Huile.	15	11.84
$i = 10^{mm}$.						

REMARQUE. — Dans les trains de Montauban à Viviez, la différence entre l'effort par tonne pour 19 voitures et celui pour 15 voitures peut paraître anormale, mais nous ferons remarquer que le train de 19 voitures était formé de matériel vide. Or nous avons souvent constaté l'excès de tirage du matériel vide sur le matériel chargé. Nous y reviendrons plus loin.

On voit que l'influence de la longueur des trains est liée d'une manière intime avec la résistance dans les courbes.

III. — Chargement.

Nous avons expérimenté des trains à divers degrés de chargement, c'est-à-dire avec des charges par wagon plus ou moins considérables. En général, dans les conditions moyennes, l'effort par tonne reste sensiblement le même, quel que soit le chargement, toutes autres circonstances égales d'ailleurs. Cela s'explique théoriquement par la constance du coefficient de frottement dans les boîtes à graisse, lorsqu'on n'approche pas de la limite du grippage.

Mais lorsque nous avons comparé des véhicules à charge à peu près complète avec des véhicules entièrement vides, nous avons observé à plusieurs reprises que la tonne de matériel vide exige un tirage sensiblement plus fort que la tonne de matériel chargé. Comme le fait s'est présenté avec un nombre égal de véhicules vides et de véhicules chargés, il faut en conclure que ce n'est pas la longueur du train qui est en jeu pour produire cette différence.

Pour expliquer cette anomalie, on peut admettre que les caisses des

wagons vides ont une assiette moins stable sur les boîtes à graisse que les caisses chargées, et produisent en marche des oscillations verticales et horizontales plus prononcées.

Voici une expérience directe sur le matériel vide et le matériel chargé, à égalité de nombre de véhicules.

16 juillet 1857.

17 wagons vides, pesant. . . . . 77 tonnes.
17 wagons chargés, pesant . . . . 217 id.

Paris à Étampes et retour (graissage à la graisse).

Effort par tonne du matériel vide en palier. . . . . . . $4^{kg}.52$.
id. du matériel chargé. . . . . $3^{kg}.12$.

Différence . . . . $1^{kg}.40$.

Vitesse 25 kilomètres.

Une contre-expérience a été faite pour se rapprocher davantage des conditions habituelles du service, qui comportent un nombre de wagons plus considérable. Un même jour, presque aux mêmes heures, un train de 35 wagons chargés et un train de 60 wagons vides furent remorqués de *Paris à Orléans*. (Graissage à la graisse.)

24 février 1858.

35 wagons chargés.		60 wagons vides.	
Tonnage.	396^t	Tonnage.	287^t
Paris à Orléans.		Paris à Orléans.	
Effort moyen par tonne.	$3^{kg}.92$	Effort moyen par tonne.	$5^{kg}.45$
id. total . . .	1555^k	id. total . . .	1505^k
Vitesse 23 kilomètres.		Vitesse 22 kilomètres.	

L'effort de traction de 60 wagons vides équivalait donc à peu près à celui 35 wagons chargés.

Différence entre les efforts par tonne, $1^{kg}.53$.

Cette différence est encore plus grande que précédemment. Il est vrai que le rapport des longueurs de train de la deuxième expérience est au désavantage du matériel vide.

Nous pouvons rappeler ici une expérience déjà citée au paragraphe II, celle du 10 avril 1859 et celle du 21 avril 1859.

10 avril 1859.		21 avril 1859.	
15 véhicules chargés.		19 véhicules vides.	
Tonnage	$168^t.7$	Tonnage.	$90^t.5$

Montauban à Viviez.	Montauban à Viviez.
(Graisse et huile.)	(Huile.)
Effort moyen par tonne. 5kg.74	Effort moyen par tonne. 7kg.81
Vitesse 32 kilomètres.	Vitesse 33 kilomètres.

IV. — État des rails.

La traction varie avec l'état des rails, suivant qu'ils sont secs ou mouillés, et suivant que la voie est plus ou moins bien entretenue.

Pour ce qui est de l'humidité du rail, on a reconnu que le roulement sur rail mouillé est plus facile que sur rail sec. A vrai dire la différence est très-peu notable; l'humidité du rail ne joue pas ici un rôle aussi important que pour l'adhérence des machines locomotives. Dans le cas de l'adhérence, c'est un frottement de glissement qui est en jeu; dans le cas du remorquage des wagons, c'est un frottement de roulement.

Nous avons à citer une expérience directe, faite pour comparer l'influence de la voie sèche et de la voie mouillée.

C'est le même train qui a fait le trajet de Paris à Étampes et retour; d'abord sur la voie sèche et ensuite sur la voie mouillée. Le mouillage était fait artificiellement à l'aide de cuves à eau placées dans les wagons dynamomètres, et débitant le liquide à l'aide de tuyaux sur la voie.

Les deux trains ont été faits dans des circonstances atmosphériques identiques : temps sec, vent nul (juillet 1857). Les conditions de vitesse sont peu différentes : il y a un léger excès de vitesse pour la voie mouillée.

Voie sèche.	*Voie mouillée.*
1er juillet 1857.	11 juillet 1857.
35 wagons chargés.	35 wagons chargés.
Tonnage 317t	Tonnage 317t
Paris à Étampes et retour.	Paris à Étampes et retour.
(Graissage à la graisse.)	(Graissage à la graisse.)
Effort par tonne en palier, 3kg.95	Effort par tonne en palier, 3kg.52
Vitesse 23 kilom.	Vitesse 25 kilom.

En général, ainsi que l'ont fait voir d'autres trains, remorqués en temps sec ou en temps de pluie, la différence de tirage résultant de l'état d'humidité du rail est peu sensible.

Quant aux conditions de traction résultant de l'entretien de la voie, elles sont très-variables. Les défauts dans la pose des rails, le tassement du terrain sous les traverses, l'usure ou l'écrasement des rails, leur mobilité dans les coussinets, etc., sont autant de circonstances qui donnent lieu à des soubresauts et à des cahots du matériel roulant, et par suite à une augmentation d'effort.

V. — Nature du graissage.

Le système de graissage employé dans les chemins de fer a été notablement perfectionné depuis leur origine. Aussi les expériences dynamométriques actuelles accusent un tirage par tonne notablement inférieur à celui donné par les anciens matériels roulants.

A la Compagnie d'Orléans, les expériences ont porté surtout sur la comparaison du matériel de cette Compagnie, graissé à la graisse, avec le matériel modifié graissé à l'huile.

Voici d'abord une expérience directe portant sur le matériel d'Orléans.

1er août 1857.

Paris à Étampes et retour.

Graisse.		Huile.	
16 wagons pesant	194t	16 wagons pesant	188t
Effort par tonne en palier.	3kg.37	Effort par tonne en palier.	2kg.22

Vitesse 24 kilomètres.

De ce tableau on a conclu, lors de l'application généralisée des boîtes à huile aux wagons de la Compagnie d'Orléans, que la charge des trains pouvait être notablement augmentée. Et afin de se rapprocher davantage des conditions de la pratique, on a recommencé l'expérience comme il suit :

17 juin 1859.

Paris à Orléans.

Graisse.		Huile.	
35 wagons pesant	317t	42 wagons pesant	391t
Effort par tonne en palier.	3kg.80	Effort par tonne en palier.	2kg.60
Vitesse 25 kilomètres.		Vitesse 23 kilomètres.	

En général, et en analysant les diverses expériences avec le matériel graissé à la graisse et celui à l'huile, on a trouvé que la différence entre les 2 tirages est d'environ 1kg.20 par tonne en temps ordinaire. En hiver, on a eu jusqu'à 1kg.80 (30 janvier 1858).

Nous constatons également que la différence entre les 2 graissages est un maximum au moment du démarrage. Après quelque chemin parcouru, elle tend à diminuer. Cela s'explique par l'échauffement des coussinets et la liquéfaction de la graisse.

Les chiffres ci-dessus se rapportent exclusivement au matériel d'Orléans.

Nous avons un certain nombre d'expériences comparatives du matériel d'Orléans et du matériel du Midi; une grande quantité de véhicules de cette dernière Compagnie entrant dans nos trains, nous avions dû à une certaine époque, mais momentanément, leur appliquer un coefficient

spécial dans l'établissement des charges à remorquer par nos machines locomotives.

10 mai 1864.

Paris à Orléans.

Graisse.	Huile.
(Matériel du Midi.	(Matériel d'Orléans.)
Roues de 0m.900.	Roues de 1m.
20 wagons pesant. 260t	20 wagons pesant 225t
Effort par tonne en palier. 3kg.00	Effort par tonne en palier. 2kg.70

Vitesse 25 kilomètres.

---

17 novembre 1864.

Périgueux à Limoges.

Graisse.	Huile.
(Matériel du Midi.)	(Matériel d'Orléans.)
28 wagons pesant 380t	35 wagons pesant. 392t
Effort par tonne en palier. 2kg.46	Effort par tonne en palier. 2kg.41
Vitesse 25 kilom.	Vitesse 30 kilom.

Remarque. — Les 2 efforts par tonne sont sensiblement égaux, mais le rain de wagons d'Orléans est plus long et marche plus vite que celui des wagons du Midi. On peut en conclure que dans les mêmes conditions de vitesse et de nombre de véhicules, son tirage aurait été plus faible.

11 janvier 1865.	13 janvier 1865.
Périgueux à Limoges.	Périgueux à Limoges.
Graisse.	Huile.
(Matériel du Midi.)	(Matériel d'Orléans.)
28 wagons pesant 345t	28 wagons pesant. 340t
Effort par tonne en palier. 3kg.05	Effort par tonne en palier. 2kg.28

Vitesse 16 kilomètres.

Remarque. — Cette dernière expérience est plus concluante, car elle a té faite à égalité de nombre de véhicules et à égalité de tonnage.

La différence entre les 2 matériels est 0kg.77.

Nous devons cependant remarquer ici que cet excès de tirage ne doit as être imputé entièrement au mode de graissage, mais également à ne différence dans le diamètre des roues. Les roues d'Orléans ont 1m celles du Midi ont 0m.900.

On peut admettre en effet que le graissage à la graisse, établi avec soin, onne en marche des résultats comparables à ceux du graissage à l'huile. ous mentionnons à ce sujet une expérience faite en 1866 sur 20 wagons Orléans et 20 wagons de l'Ouest. Ces deux matériels étaient réunis en 1 seul train et précédés chacun d'un dynamomètre. On opérait ainsi ans les mêmes conditions de vitesse et de température.

5 mars 1866.

Temps sec, beaucoup de vent, température (5 à 10°).

Paris à Toury.

(Matériel d'Orléans.)		(Matériel de l'Ouest.)	
Huile.		Graisse.	
20 wagons pesant	234^{t}	20 wagons pesant	238^{t}
Roues de 1^{m}.		Roues de 1^{m}.	
wagons à rideaux.		wagons à volets.	

1° Paris à Saint-Michel. Vitesse moyenne 25 kilomètres.
Effort par tonne en palier, 3^{kg}.37. Effort par tonne en palier, 2^{kg}.80.

2° Saint-Michel à Étampes. Vitesse moyenne 28 kilomètres.
Effort par tonne en palier, 5^{kg}.48. Effort par tonne en palier, 0^{kg}.99.

3° Étampes à Guillerval. Vitesse moyenne 20 kilomètres.
Effort par tonne en palier, 3^{kg}.94. Effort par tonne en palier, 4^{kg}.03.

4° Étampes à Toury. Vitesse moyenne 22 kilomètres (grand vent).
Effort par tonne en palier, 4^{kg}.93. Effort par tonne en palier, 4^{kg}.27.

D'après ce tableau, l'effort pour le matériel de l'Ouest a été un peu inférieur à celui du matériel d'Orléans.

Il convient de remarquer que les wagons d'Orléans étaient à rideaux et offraient par conséquent plus de prise au vent..

Mais certaines irrégularités accusées par les courbes dynamométriques nous font considérer les résultats de cette expérience comme entachés de quelque inexactitude. Ainsi, entre Saint-Michel et Étampes, l'effort total de traction indiqué par le dynamomètre de tête a été à plusieurs reprises inférieur à l'effort partiel indiqué par le dynamomètre du milieu. Un pareil fait ne peut s'expliquer que par des erreurs d'expérimentation. En général, l'emploi simultané de deux dynamomètres donne des indications moins précises que l'usage d'un seul dynamomètre attelé à des trains remorqués séparément.

En résumé, par suite des expériences faites sur le matériel de la Compagnie d'Orléans, le graissage à l'huile a toujours paru plus avantageux que celui à la graisse, et la transformation des anciennes boîtes à graisse de ses véhicules en boîtes à huile a donné pratiquement des résultats satisfaisants au point de vue de la dépense et de la diminution de la résistance de traction des trains.

Voici un tableau comparatif concernant le graissage à l'huile.

Dépense des boîtes à graisse et à huile des wagons de la Compagnie d'Orléans.

ANNÉES.	DÉPENSES DE GRAISSAGE (HUILE ET GRAISSE). PARCOURS total des wagons.	NOMBRE moyen de wagons en service. (Matériel d'Orléans.)	PARCOURS MOYEN d'un wagon.	NOMBRE de wagons à la graisse.	NOMBRE de wagons à l'huile	DÉPENSE en argent. (Totale.)	MOYENNE de la dépense par 1000 kilom. et par wagon.	DÉPENSES DE MATIÈRES CONSOMMÉES POUR L'ENTRETIEN DES BOITES. TAMPONS. Nombre	TAMPONS. Valeur	FEUTRES. Nombre	FEUTRES. Valeur	CUIRS. Nombre	CUIRS. Valeur	MATIÈRE FUSIBLE. Valeur	DÉPENSE TOTALE. PAR ANNÉE	PAR ANNÉE et par wagon.
	p	n	$\frac{p}{n}$			D	$\frac{1000\ D}{pn}$		a		b		c	d	$D+a+b+c+d=D'$.	$\frac{D'}{n}$
	kilom.	nombre.	kilom.	nombre.	nombre.	francs.	francs.	nombre.	francs.	nombre.	francs.	nombre.	francs.	francs.	francs.	fr. c.
1858	154586511	8233	18 776	3653	4580	150007	0.000117	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1859	186846208	8828	21165	1531	7297	145072	0.000080	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1860	189630174	8876	21607	1152	7624	139002	0.000079	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1861	218331187	9158	23840	1044	8114	186111	0.000093	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1862	224015437	10404	21531	983	9421	172757	0.000074	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1863	251625917	11316	22236	801	10517	139723	0.000049	14650	12897	37568	11747	15548	4820	476	169663	14.99
1864	280951333	11629	24159	491	11134	119824	0.000037	22821	21679	63061	20179	33472	8702	504	170888	14.69
1865	304394433	12428	24492	302	12126	131869	0.000035	28384	22471	41266	10888	27828	5435	554	171217	13.77
1866	355630344	13707	25938	99	13608	145196	0.000030	30037	23428	41398	11591	20151	5037	616	185868	13.56

VI. — Influence de la Température.

Nous avons déjà dit qu'en été, et lorsque les wagons ont roulé un certain temps, le graissage à la graisse tend à donner une lubréfraction complète, et par suite un tirage sensiblement égal à celui de l'huile.

Mais il n'en reste pas moins constant que cette faculté disparaît en hiver, et diminue notablement par les temps un peu froids. Sans le secours d'aucun dynamomètre, la pratique de la traction a fait reconnaître depuis longtemps qu'en hiver le tirage est plus difficile avec la graisse qu'avec l'huile.

Ce fait est sensible, même avec les graisses fabriquées particulièrement pour cette saison.

Des expériences faites en décembre 1860, par une température de 4° au-dessous de 0, ont donné, à plusieurs reprises, des efforts par tonne (matériel à la graisse) supérieurs à 5^{kg}, pour une vitesse de 25 kilomètres (en palier).

La composition de la graisse était :

Huile de colza non épurée	55
Suif	15
Eau	28
Carbonate de soude.	2
Total.	100

En été, la proportion de suif allait jusqu'à 30, et celle d'huile descendait à 40.

Avec le graissage à l'huile, quelle que soit la température, nous n'avons jamais dépassé le chiffre de $3^{kg}.50$, pour la vitesse de 25 kilomètres (en palier).

VII. — Rampes et pentes.

Par des considérations géométriques très-simples, on reconnaît que sur une voie en pente un poids de 1000^{kg} ou d'une tonne sera sollicité à la descente par une force égale à 1^{kg} pour chaque millimètre d'inclinaison.

Ce principe est entièrement confirmé par la pratique.

Connaissant l'effort par tonne d'un matériel quelconque roulant sur une voie inclinée, on trouvera donc l'effet en palier dans les mêmes conditions de vitesse et de courbes, en retranchant de l'effort donné un nombre de kilogrammes égal au nombre de millièmes représentant l'inclinaison s'il s'agit d'une rampe, et en ajoutant ce nombre de kilogrammes s'il s'agit d'une pente.

VIII. — Mode d'attelage.

Dans les trains de voyageurs, on a l'habitude de serrer les attelages pour diminuer le mouvement de lacet, et pour éviter le choc des tampons les uns contre les autres.

Dans les trains de marchandises, la vitesse étant beaucoup plus faible, on ne redoute point ces inconvénients, et l'on trouve avantage à maintenir les attelages peu serrés pour les raisons suivantes :

Le démarrage est beaucoup plus difficile avec les attelages serrés qu'avec les attelages lâches. Cela s'explique aisément. La force à transmettre au train a besoin d'être plus considérable pour vaincre d'un seul coup l'inertie de la masse, que pour vaincre successivement les inerties partielles des différents éléments de cette masse.

L'examen des courbes dynamométriques fait bien ressortir ce fait. On constate à ce sujet des différences notables entre les démarrages des trains de voyageurs et ceux des trains de marchandises.

Ainsi l'effort par tonne, au démarrage des trains de voyageurs, peut s'élever jusqu'à 20 kilogr. (en palier).

Au démarrage des marchandises, il est généralement de 10 à 12 kilogr. (en palier).

Il est vrai de dire que l'effort développé à cet instant est parfois exagéré ; il a pour but de communiquer plus rapidement au train une puissance vive. Les mécaniciens agissent ainsi pour se lancer. Aux trains de voyageurs omnibus, le besoin de se lancer est parfois justifié par la fréquence des arrêts.

Dans le passage des courbes, le mode d'attelage joue un certain rôle. Avec des tendeurs très-serrés, la résistance augmente notablement. Les trains de marchandises, qui présentent une grande longueur, éprouvent, dans ce cas, de grandes difficultés de traction.

IX. — Surface des wagons. Intensité et direction du vent.

La surface des wagons a une certaine influence sur la traction quand la vitesse atteint de 25 à 30 kilomètres; ou qu'il fait du vent.

Ainsi les wagons plates-formes à chargement peu élevé accusent un effort un peu plus faible que les wagons à caisse.

Le relevé de nos trains d'expérience montre que pour des vitesses inférieures à 35 kilom. et par un temps calme, le tirage des wagons plats ou à caisse est sensiblement le même.

Lorsqu'il fait un vent d'une certaine intensité, les conditions de traction deviennent difficiles. Sur le plateau de la Beauce, entre Étampes et

Orléans, des trains de marchandises ont été presque arrêtés par le vent. Des trains de voyageurs sont notablement retardés.

Voici une comparaison résultant d'une expérience directe, comprenant un train remorqué entre Orléans et Étampes, par un temps calme, et un train de même nature remorqué sur la même section par un grand vent de travers.

7 juillet 1857.	25 février 1858.
Orléans à Étampes.	Orléans à Étampes.
Temps calme.	Grand vent de travers.
35 wagons à caisse.	35 wagons à caisse.
Tonnage. 317t	Tonnage. 363t
(Graissage à la graisse.)	(Huile et graisse.)
Effort par tonne en palier. 3kg.57	Effort par tonne en palier. 4kg.95.
Vitesse 23 kilomètres.	Vitesse 23 kilomètres.

Il faut établir une différence entre la résistance de l'air due uniquement à la vitesse du train et celle qui est causée par un vent atmosphérique accidentel. Cette dernière varie énormément, et produit des effets difficiles à étudier expérimentalement, parce que la direction et l'intensité du vent changent à chaque instant.

Quant à la résistance de l'air par un temps calme, nous l'avons mesurée, dans une série de trains d'expérience, au moyen de 2 girouettes installées au-dessus du wagon dynamomètre, et dont l'une était orientée perpendiculairement à l'axe de la voie, l'autre dans le sens même de l'axe.

La girouette à surface perpendiculaire à l'axe du train indiquait les efforts dirigés suivant cet axe ou du moins leur résultante.

La girouette à surface parallèle à la face latérale des wagons, indiquait la résultante des actions latérales des courants d'air. Par un temps calme, cette girouette ne subissait aucune déviation.

Les déviations des girouettes, combattues par des ressorts d'une force connue, faisaient connaître l'intensité des courants d'air qui les frappaient.

On rapportait cette intensité à la surface du train soumise au courant d'air. D'après M. de Pambour, cette surface est égale à la surface d'avant du 1er wagon, augmentée de 1/7 pour chaque wagon qui suit.

D'après cela, pour un train de voyageurs de 8 voitures, on aurait la surface S = 13mq.58.

Voici les résultats que nous avons obtenus pratiquement pour la résistance de l'air due uniquement à la vitesse.

TRAINS SPÉCIAUX (JUILLET 1863).			
TRAINS A 15 KILOMÈTRES.	TRAINS A 30 KILOMÈTRES.	TRAINS A 45 KILOMÈTRES.	TRAINS A 60 KILOMÈTRES.
Tonnage : 167 tonn. 15 wagons.	Tonnage : 167 tonn. 15 wagons.	Tonnage : 73t.5. 8 wagons.	Tonnage : 73t.5. 8 wagons.
Résistance tot. : 29 kg.	Résistance tot. : 67 kg.	Résistance tot. : 48 kg.	Résistance tot. : 66 kg.
Par tonne : $0^{kg}.17$.	Par tonne : $0^{kg}.40$.	Par tonne : $0^{kg}.66$.	Par tonne : $0^{kg}.89$.

On voit que la résistance de l'air déplacé par le train augmente plus rapidement que la vitesse, mais moins vite cependant que le carré de cette vitesse.

X. — Influence de la Vitesse.

La vitesse a pour effet d'augmenter la traction d'une manière très-notable.

Cette influence n'est pas toujours accusée d'une façon très-régulière par les détails des courbes dynamométriques. Trop de causes étrangères à la vitesse, et influant également sur l'effort de traction, viennent modifier à chaque instant les résultats; mais, en considérant l'ensemble du travail développé pour le remorquage du train, on reconnaît que l'augmentation de vitesse, toutes autres conditions égales d'ailleurs, nécessite une augmentation d'effort.

Dans les courbes dynamométriques, la vitesse n'est pas toujours en rapport avec les efforts accusés au même instant. Il faut faire la part de la puissance vive, ainsi que nous l'avons expliqué. Il faut, ou rapporter le travail moyen du train à la vitesse moyenne, ou considérer des périodes de vitesse uniforme suffisamment longues.

Voici les efforts que nous avons trouvés à différentes vitesses, pour le matériel graissé à la graisse, dans des expériences faites spécialement dans ce but.

Graissage à la graisse.

Trains de marchandises.

24 août 1859.	24 août 1859.
Choisy à Paris.	Choisy à Paris.
16 wagons pesant . . . . $158^t.65$	16 wagons pesant . . . . . $158^t.51$
Effort par tonne en palier. $2^{kg}.42$	Effort par tonne en palier. $3^{kg}.60$
Vitesse 15 kilomètres.	Vitesse 15 kilomètres.

24 août 1859.

Paris à Choisy.

16 wagons pesant 158t.15
Effort par tonne en palier. 4kg.28
Vitesse 30 kilomètres.

24 août 1859.

Paris à Choisy.

16 wagons pesant 158t.51
Effort par tonne en palier. 4kg.35
Vitesse 30 kilomètres.

Pour les différents trains que nous avons cités dans ce mémoire, on remarquera qu'en général, à la vitesse de 25 kilomètres, l'effort par tonne (en palier) est compris entre les deux valeurs ci-dessus, 3k.60 et 4k.35.

Graissage à la graisse.

Trains de voyageurs.

2 septembre 1857.

Paris à Orléans.

16 voitures pesant 107t
Effort par tonne en palier. 6kg.67
Vitesse 45 kilomètres.

10 septembre 1857.

Paris à Orléans.

15 voitures pesant 106t
Effort par tonne en palier. 5kg.79
Vitesse 45 kilomètres.

11 septembre 1857.

Paris à Orléans.

14 voitures pesant 96t
Effort par tonne en palier. 7kg.68
Vitesse 45 kilomètres.

11 septembre 1857.

Paris à Orléans.

13 voitures pesant. 96t
Effort par tonne en palier. 7kg.42
Vitesse 50 kilomètres.

2 septembre 1857.

Paris à Orléans.

10 voitures pesant 74t
Effort par tonne en palier. 8kg72
60 kilomètres.

Avec le graissage à l'huile, les valeurs obtenues aux différentes vitesses sont notablement plus faibles; mais on observe néanmoins que l'accroissement de l'effort par tonne est lié avec l'accroissement de la vitesse.

Nous avons fait un grand nombre de trains dans toutes les conditions de vitesse.

Nous donnons ci-après le relevé d'expériences dynamométriques faites, en 1863 et 1865, dans des conditions spéciales pour rechercher la loi de variation de l'effort par tonne, suivant la vitesse.

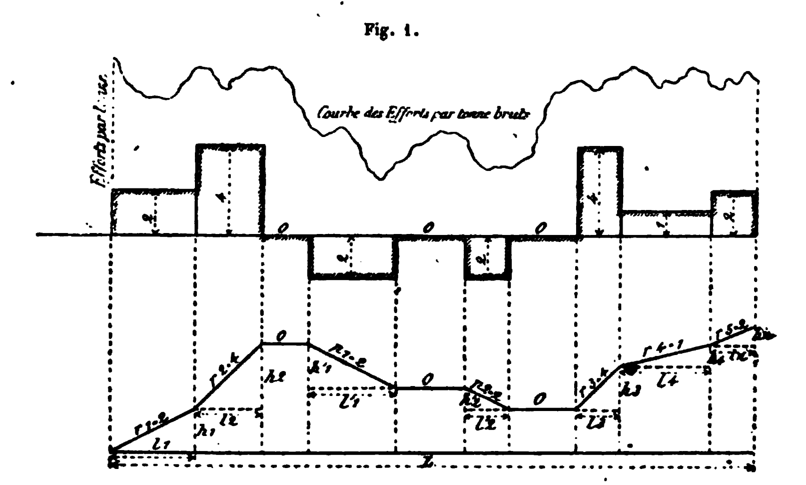
La méthode de calcul employée a été la suivante :

Méthode suivie pour la recherche de l'effort par tonne en palier.

Étant donnée la courbe des efforts par tonne d'un train remorqué, l'aire de cette courbe représente le travail absorbé par la traction d'une tonne pendant tout le trajet considéré. On obtient l'effort moyen du trajet en divisant l'aire de la courbe par le chemin total parcouru.

Mais, pour ramener cet effort moyen à celui en palier, c'est-à-dire pour le corriger de l'influence de la gravité variable avec le profil, il faut retrancher de chaque effort observé 1 kilogramme par millième de rampe, ou ajouter à chaque effort 1 kilogramme par millième de pente.

Fig. 1.



Cette règle est absolue, quelle que soit la variation de la vitesse pendant le trajet. En se reportant à la figure 1, on voit que cette opération revient à construire des rectangles ayant pour bases les longueurs des pentes ou rampes et pour hauteur le nombre de millièmes que représente l'inclinaison. Il est bien entendu que, les efforts par tonne bruts et l'action de la gravité étant des unités de même nature, c'est-à-dire des kilogrammes, on doit employer pour la hauteur des rectangles la même échelle que pour les ordonnées de la courbe des efforts.

Les rampes donnent des rectangles situés au-dessus de la ligne des abscisses, ou affectés du signe *plus*. Les pentes donnent des rectangles situés au-dessous de la ligne des abscisses, ou affectés du signe *moins*. Les paliers se réduisent à une simple ligne qui se confond avec la ligne des abscisses; ils donnent des surfaces *nulles*.

C'est la somme algébrique de tous ces rectangles, pris avec leurs signes

respectifs, qui représente le travail de la gravité, et qui doit être retranchée du travail brut accusé par la courbe des efforts par tonne.

Ici intervient une simplification des plus heureuses qui abrége considérablement les opérations.

En effet, *la somme algébrique des rectangles construits sur les diverses portions du profil peut toujours être remplacée par un rectangle équivalent, ayant pour base la longueur totale du trajet et pour hauteur la hauteur moyenne des rectangles. Or, cette hauteur moyenne est justement égale à la différence des altitudes des deux extrémités du profil considéré, divisé par la longueur totale du profil.*

Voici la démonstration :

Soient : $l_1, l_2, l_3 \ldots\ldots\ldots l_n$ les longueurs des rampes,
$l'_1, l'_2, l'_3 \ldots\ldots\ldots l'_n$ les longueurs des pentes,
Soient : $h_1, h_2, h_3 \ldots\ldots\ldots h_n$ les hauteurs verticales des rampes,
$h'_1, h'_2, h'_3 \ldots\ldots\ldots h'_n$ les hauteurs verticales des pentes,

les inclinaisons respectives seront représentées par les rapports :

$$(1) \quad \frac{h_1}{l_1} = r_1, \quad \frac{h_2}{l_2} = r_2, \quad \frac{h_3}{l_3} = r_3 \ldots \frac{h_n}{l_n} = r_n \qquad \text{(Rampes).}$$

$$(2) \quad \frac{h'_1}{l'_1} = -p_1, \quad \frac{h'_2}{l'_2} = -p_2, \quad \frac{h'_3}{l'_3} = -p_3 \ldots \frac{h'_n}{l'_n} = -p_n \qquad \text{(Pentes).}$$

Les valeurs $r_1, r_2, r_3 \ldots r_n$ et les valeurs $p_1, p_2, p_3 \ldots p_n$ expriment en kilogrammes la résistance par tonne due à la gravité dans les rampes et dans les pentes.

Quant à la résistance de la gravité dans les paliers, elle est nulle.

Soient L la longueur totale du parcours,
L_1 la longueur cumulée des portions en palier,
S la quadrature des efforts de la gravité, ou la somme algébrique des rectangles partiels,
x la hauteur inconnue du rectangle de surface équivalente à S et de base L,

on aura évidemment pour expression du rectangle équivalent :

$$\begin{aligned} S = L \times x = \; & r_1 l_1 + r_2 l_2 + r_3 l_3 \ldots\ldots + r_n l_n, \\ & - p_1 l_1 - p_2 l_2 - p_3 l_3 \ldots\ldots - p_n l_n, \\ & + L_1 \times 0. \end{aligned}$$

Remarque. Le terme $L_1 \times 0$ étant nul, on peut le supprimer.

Remplaçons les inclinaisons par leurs valeurs respectives données par les équations (1) et (2), on aura :

$$L \times x = \frac{h_1 l_1}{l_1} + \frac{h_2 l_2}{l_2} + \frac{h_3 l_3}{l_3} \dots + \frac{h_n l_n}{l_n}$$
$$- \frac{h'_1 l'_1}{l'_1} - \frac{h'_2 l'_2}{l'_2} - \frac{h'_3 l'_3}{l'_3} \dots - \frac{h'_n l'_n}{l'_n},$$

ou :

$$L \times x = h_1 + h_2 + h_3 \dots \dots + h_n$$
$$- h'_1 - h'_2 - h'_3 \dots \dots - h'_n .$$

Si on se rapporte à la figure, on voit que la différence des altitudes des deux points extrêmes du trajet est précisément exprimée par le second membre de cette équation.

Appelons cette différence H, il viendra :

$$Lx = H,$$

d'où :

$$x = \frac{H}{L} \text{ (ce qu'il fallait démontrer).}$$

On voit de suite l'usage qu'on peut tirer de cette facile détermination de la hauteur x du rectangle équivalent aux rectangles partiels.

On fait la différence des altitudes extrêmes; on la divise par la longueur totale du trajet. Le quotient donne en millièmes l'inclinaison moyenne du profil. C'est ce nombre de millièmes qui représente en kilogrammes la résistance par tonne due à la gravité sur tout le trajet considéré.

Il ne reste plus qu'à retrancher cette résistance de l'effort moyen donné par la courbe des efforts bruts par tonne et l'on obtient l'*effort par tonne en palier*.

En général, pour éviter la cause d'erreurs résultant des freins serrés, nous n'avons pas opéré avec le dynamomètre dans les pentes où l'on est obligé de fermer le régulateur. On peut constater sur les tableaux ci-après que l'effort du moteur est toujours accusé par un certain nombre de kilogrammes.

Variation de l'effort par tonne suivant la vitesse.

Pour faire la recherche de la loi de variation de l'effort par tonne de train, suivant la vitesse, on a formé des trains dont le poids était très-exactement déterminé. Ces trains ont parcouru à différentes vitesses des profils compris entre Paris et Éguzon. Un dynamomètre placé entre la machine et le wagon de tête accusait à chaque instant les efforts développés au crochet du tender, et ce sont les moyennes de ces efforts

tracés par le dynamomètre qui se trouvent consignées dans les tableaux ci-joints, kilomètre par kilomètre.

On a fait la somme de ces efforts partiels, pour chaque parcours sans arrêt, et on l'a divisée par le nombre de kilomètres du trajet. On a obtenu ainsi l'*effort moyen* pour tout le trajet.

On a fait la somme des vitesses et on l'a divisée par le nombre de kilomètres. On a obtenu ainsi la *vitesse moyenne* pour tout le trajet.

L'*effort moyen* obtenu est celui qui correspond à la *vitesse moyenne*.

La correction de la gravité a été faite en retranchant de l'effort moyen par tonne 1 kilogramme par millimètre de rampe du profil moyen.

Les trains expérimentés ont été enregistrés et calculés, comme il est indiqué sur les tableaux suivants :

Tableau n° 1. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 15 kilomètres.

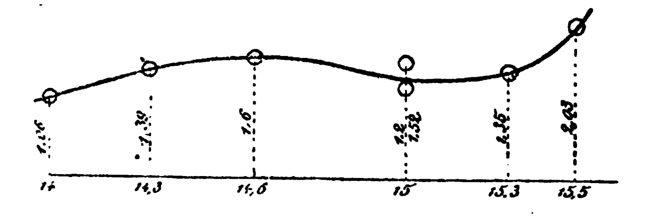
DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
7 juill. 1865. Train spécial à 15 kilom., composé de 15 wagons à marchandises lestés, pesant 167t.500.	Juvisy. Saint-Michel.	20 21 22 23 24 25 26	kil. 13 15 16 16 16 12	kilg. 750 825 825 815 790 800	Altitude du poteau 20 = 41 m. Altitude du poteau 26 = 60m.10. Différence = 19m.10. La rampe moyenne entre le poteau 20 et le poteau 26 est $\frac{19^m.20}{6000} = 0^m.00318$. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 801 kilom., l'effort par tonne de train (le train pesant 167t,500) est $\frac{801}{167^t.5} = 4^{kg}.78$. En retranchant l'effort de 3kg.18 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 6 kilomètres, à la vitesse de 14km.6, un effort de 1kg.600.
8 juill. 1863. Train spécial à 15 kilom., composé de 15 wagons à marchandises pesant 167t.500.	Étampes. Guillerval.	56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66	20 13 10 16 14 13 12 14 14 17	715 1125 1650 1700 1412 1450 1875 1100 415 410	Altit. du poteau 56 = 90m.99. Altit. du poteau 66 = 144m.80. Différence = 53m.81. La rampe moyenne entre le poteau 56 et le poteau 66 est $\frac{53^m.81}{10000} = 0^m.00538$. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 1133, l'effort par tonne de train (le train pesant 167t.500) est $\frac{1135}{167^t.5} = 6^{kg}.77$. En retranchant l'effort de 5kg.38 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 10 kilomètres, à la vitesse moyenne de 14km.3, un effort de 1kg.390.
9 juill. 1863. Train spécial à 15 kilom., composé de 15 wagons à marchandises pesant 167t.500.	La Ferté.	144 143 142 141 140 139	10 14 17 17 19	869 1125 1125 1038 475	Altitude du poteau 144 = 107 mètres. Altitude du poteau 139 = 127 mètres. Différence = 20 mètres. La rampe moyenne entre les poteaux 144 et 139 = 0m.004. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 926 kil., l'effort par tonne de train (le train pesant 167t.500) est $\frac{926}{167^t.5} = 5^{kg}.52$. En retranchant l'effort de 4 kilg. absorbé pour remonter la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 5 kilomètres, à la vitesse moyenne de 15 kilm., un effort de 1kg.520.
	        Orléans.	130 129 128 127 126 125 124 123 122	16 15 16 18 14 15 16 14	275 455 480 512 1000 730 950 1313	Altitude du poteau 130 = 106 mètres. Altitude du poteau 122 = 118 mètres. Différence = 18 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 130 et le poteau 122 est $\frac{18}{8000} = 0.00223$. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 714 kilog., l'effort par tonne de train (le train pesant 167t.500) est $\frac{714}{167^t.5} = 4^{kg}.26$. En retranchant l'effort de 2k.23 absorbé pour monter la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier sur les 8 kilomètres, à la vitesse de 15km.5, un effort de 2kg.030.
11 juil. 1863. Train spécial à 15 kilom., composé de 15 wagons à marchandises lestés, pesant 167t.500.	Argenton. Célon.	297 298 299 300 301 302 303 304 305	10 14 14 14 15 14 15 15	2000 2000 1750 1925 1975 1850 1875 1275	Altitude du poteau 297 = 127 mètres. Altitude du poteau 305 = 206 mètres. Différence = 79 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 297 et le 305 = $\frac{79}{8000}$ = 0.00987. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 1831kg. Effort par tonne correspondant $\frac{1831}{167.5} = 10^{kg}.93$. Effort en palier = 10.93 = 9.87 = 1kg.060 à la vitesse de 14km.

Suite du tableau n° 1. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 15 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSE.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
	Célon.	306	17	1850	Altitude du poteau 306 = 212m. Altitude du poteau 323 = 324 mètres. Différence = 112 mètres. Rampe moyenne entre les poteaux 306 et 323 = $\frac{112}{17000}$ = 0.00659. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 1331kg. Effort par tonne correspondant $\frac{1331}{167.5}$ = 7kg.94. Effort en palier = 794 — 6.59 = 1kg.350 à la vitesse de 15km.3.
		307	15	1637	
		308	16	1200	
		309	13	1800	
		310	14.5	1850	
		311	13.6	1441	
		312	15.5	1063	
		313	14.5	1100	
		314	16	1350	
		315	14.5	1275	
		316	17	912	
		317	15	1200	
		318	16	1250	
		319	16	1225	
		320	15	1175	
		321	17	1175	
		322	13.6	1128	
	St-Sébastien.	323			
		324	16	1188	Altitude du poteau 324 = 329 mètres. Altitude du poteau 330 = 364 mètres. Différence = 35 mètres. Rampe moyenne entre les poteaux 324 et 333 = $\frac{35}{6000}$ = 0.00583. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux 1178kg. Effort par tonne correspondant $\frac{1178}{167.5}$ = 7kg.03. Effort en palier = 703 — 5.83 = 1kg.200 à la vitesse de 15 kilomètres.
		325	13.6	1275	
		326	17	1250	
		327	15.8	1175	
		328	14.5	1050	
		329	15	1128	
	Forgeveille.	330			

Machine 130. Courbe des trains à 15 kilomètres.



Nota. Voir sur la planche 3 la courbe d'ensemble des résultats fournis par la machine 130 à différentes vitesses.

Tableau n° 2. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 30 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
7 juil. 1863. Train spécial à 30 kilom., composé de 15 wagons à marchandises lestés, pesant $167^t.500$.	Paris. Choisy.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	20 26 28 28 28 27 30 28 29	790 465 300 325 375 450 465 515 475	Altitude du poteau $0 = 35^m,65$. Altitude du poteau $9 = 38^m$. Différence $= 2^m.35$. La rampe moyenne entre le poteau 0 et le poteau 9 est $\frac{2^m.35}{9000} = 0^m.00037$. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 492^{kg}., l'effort par tonne de train (le train pesant $167^t.500$) sera $\frac{492}{167.5} = 2^{kg}.93$. En retranchant l'effort $0^{kg}.37$ dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 9 kilomètres, et à la vitesse de 27 kilomètres à l'heure, un effort de $2^{kg}.650$.
	Juvisy. Saint-Michel.	20 21 22 23 24 25 26	27 29 30 30 30 30	775 825 900 850 650 850	Altitude du poteau $20 = 41$ mètres. Altitude du poteau $26 = 60^m.10$. Différence $= 19^m.10$. La rampe moyenne entre le poteau 20 et le poteau 26 est $\frac{19^m.10}{6000} = 0^m.00318$. La moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux étant 808, l'effort par tonne de train (le train pesant $167^t.500$) est $\frac{808^k}{167.5} = 4^{kg}.82$. En retranchant l'effort $3^{kg}.18$ dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 6 kilomètres, et à la vitesse de 29 kilomètres, un effort de $1^{kg}.640$.
8 juill. 1863. Train spécial à 30 kilom., composé de 15 wagons à marchandises lestés, pesant $167^t.500$.	Étampes. Guillerval.	56 57 58 59 60 61 62 63 64 65	30 30 19 19 24 30 36 36 37	1090 1090 1425 1660 1900 1820 1620 1207 700	Altitude du poteau $56 = 90^m.99$. Altitude du poteau $65 = 144.70$. Différence $= 53^m.71$. La rampe moyenne entre le poteau 56 et le poteau 65 est $\frac{53^m.71}{9000} = 0.00597$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 1390^{kg}, l'effort par tonne de train (le train pesant $167^t.500$) est $\frac{1390}{167.5} = 8.29$. En retranchant l'effort de $5^{kg}.97$ dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 9 kilomètres, et à la vitesse de 29 kilomètres à l'heure, un effort de $2^{kg}.320$.
11 juil. 1863. Train spécial à 30 kilom., composé de 15 wagons à marchandises lestés, pesant $167^t.500$.	Argenton. Célon.	295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305	23 24 26 29 31 27 21 16 15 21	1525 2020 2121 2125 2075 1725 1885 1775 1875 1630	Altitude du poteau $295 = 112$ mètres. Altitude du poteau $322 = 3119$ mètres. Différence $= 207$ mètres. La rampe moyenne entre le poteau 295 et le poteau 301 est $\frac{207}{27000} = 0.00766$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux $= 1660^{kg}$. Effort par tonne correspondant $\frac{1660}{167.5} = 9^{kg}.99$. Effort en palier $= 9.99 - 7.66 = 2^{kg}.330$, à la vitesse de $25^{km}.7$.
	Éguzon. St-Sébastien.	317 318 319 320 321 322	31 33 31 28 30	1250 1300 1255 1140 1200	*Nota.* — Entre les poteaux 305 et 317, le profil moyen est sensiblement 0.007. Le train ne s'est pas arrêté avant Saint-Sébastien ; mais la courbe dynamométrique manque entre ces deux poteaux, par suite d'un dérangement de l'appareil. La valeur $2^{kg}.330$ n'est donc qu'approximative.

Suite du tableau n° 2. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 30 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
	St-Sébastien.	324 325 326 327 328	29 32 34 34	1525 1455 1315 1340	Altitude du poteau 324 = 329 mètres. Altitude du poteau 328 = 353 mètres. Différence = 24 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 324 et le poteau 328 est, $\frac{24}{4000} = 0.00600$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 1409^{k}. Effort par tonne correspondant $\frac{1409}{167.5} = 8^{kg}.41$. Effort en palier = 8.41 — 6.00 = 2^{kg}.410, à la vitesse de 32 kilomètres.

Machine 130. Courbe des trains à 30 kilomètres.

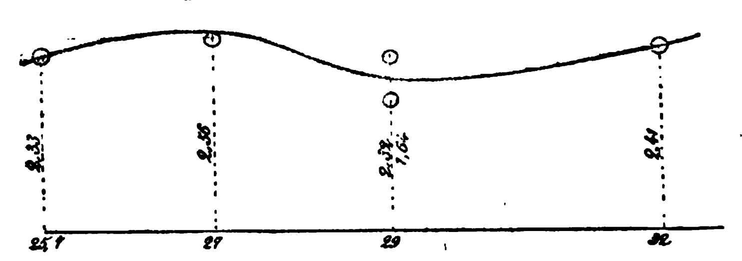


Tableau n° 3. — MACHINE 180 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 45 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
9 juill. 1863. Train spécial à 45 kilom., composé des 8 premiers wagons lestés du train précédent. Poids 73ᵗ.509.	Paris. Choisy.	1 2 3 4 5 6 7 8 9	32 40 42 45 48 48 43 38	450 325 275 310 310 200 120 120	Altitude du poteau 1 = 35ᵐ.30. Altitude du poteau 9 = 38 m. Différence = 2ᵐ.70. La rampe moyenne entre le poteau 1 et le poteau 9 est $\frac{2^m.70}{8000} = 0^m.00034$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 264 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73ᵗ.500) est $\frac{264}{73.5} = 3^{kg}.59$. En retranchant l'effort de 0ᵏᵍ.34 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 8 kilomètres, et à une vitesse moyenne de 42 kilom. à l'heure, un effort de 3ᵏᵍ.250 par tonne.
	Juvisy. Saint-Michel.	20 21 22 23 24 25 26	42 43 42 48 44 46 43	450 400 425 500 450 385 420	Altitude du poteau 20 = 41 m. Altit. du poteau 27 = 63ᵐ.60. Différence = 22ᵐ.60. La rampe moyenne entre le poteau 20 et le poteau 27 est $\frac{22^m.60}{7000} = 0.00327$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 433 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73ᵗ.500) est $\frac{433}{73.5} = 5.^{kg}89$. En retranchant l'effort de 3ᵏᵍ.27 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 7 kilom., et à une vitesse de 44 kilom. à l'heure, un effort de 2ᵏᵍ.620 par tonne.
8 juill. 1863. Train spécial à 45 kilom., composé des 8 wagons lestés, pesant 73ᵗ.500.	Étampes. Guillerval.	56 57 58 59 60 61 62 63 64	27 42 45 38 41 45 45 47 43	675 700 775 850 825 900 850 450 300	Altit. du poteau 56 = 90ᵐ.99. Altit. du poteau 65 = 144ᵐ.70. Différence = 53ᵐ.71. La rampe moyenne entre le poteau 56 et le poteau 65 est $\frac{53^m.71}{9000} = 0.00597$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 703 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73ᵗ.500) est $\frac{703}{73.5} = 9^{kg}.56$. En retranchant l'effort de 5ᵏᵍ.97 par tonne de train dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 9 kilom., et à une vitesse de 41 kilm. à l'heure, un effort de 3ᵏᵍ.590 par tonne.
9 juill. 1863. Train spécial à 45 kilom., 8 wagons lestés, pesant 73ᵗ.500.	La Ferté.	144 143 142 141 140 139	40 43 51 50 56	790 715 800 570 445	
	        Orléans.	130 129 128 127 126 125 124 123 122	54 51 45 50 50 51 58 52	150 150 290 430 625 600 625	Altitude du poteau 130 = 100 mètres. Altitude du poteau 122 = 118 mètres. Différence = 18 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 130 et le poteau 122 est $\frac{18}{8000} = 0.00233$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 434 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73ᵗ.500) est $\frac{434}{73.5} = 5^{kg}.88$. En retranchant l'effort de 2ᵏᵍ.33 par tonne dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 8 kilomètres, et à une vitesse de 51 kilomètres à l'heure, un effort de 3ᵏᵍ.550 par tonne.

Suite au tableau n° 3. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 45 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
11 juil. 1863. Train spécial à 45 kilom., 8 wagons lestés, pesant 73t.500.	Argenton.	296			Altitude du poteau 296 = 117 mètres. Altitude du poteau 315 = 277m.50. Différence = 160m.50. La rampe moyenne entre le poteau 296 et le poteau 315 est $\frac{160^m.50}{19000} = 0.00844$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 817 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73t.500) est $\frac{817}{73.5} = 11^{kg}.11$. En retranchant l'effort de 8kg.44 par tonne dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 19 kilomètres, et à une vitesse moyenne de 38 kilomètres à l'heure, un effort de 2kg.670 par tonne.
		297	41	1230	
		298	46	970	
		299	45	915	
		300	41	965	
		301	41	1015	
		302	46	1000	
		303	44	915	
		304	40	735	
		305	37	575	
	Célon.	306	35	530	
		307	21	635	
		308	21	780	
		309	34	975	
		310	38	825	
		311	33	850	
		312	34	750	
		313	40	650	
		314	43	675	
		315	43	630	
	Éguzon.	317			Altitude du poteau 317 = 286 mètres. Altitude du poteau 322 = 319 mètres. Différence = 33 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 317 et le poteau 322 est $\frac{33}{5000} = 0.00660$. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 712 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73t.500) est $\frac{712}{73.5} = 9.68$. En retranchant l'effort de 6kg.60 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 5 kilomètres, et à la vitesse de 47 kilomètres à l'heure, un effort de 3kg.080 par tonne.
		318	37	830	
		319	45	860	
		320	52	760	
		321	52	585	
		322	48	525	
	St-Sébastien.				
		324			Altitude du poteau 324 = 329 mètres. Altitude du poteau 330 = 364 mètres. Différence = 35 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 324 et le poteau 330 est $\frac{35}{6000}$ 0.00583. La moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux étant 677 kg., l'effort par tonne de train (le train pesant 73t.500) est $\frac{677}{73.5} = 9.21$. En retranchant l'effort de 5kg.38 dû à la rampe, il reste, pour remorquer le train en palier, sur les 6 kilomètres, et à la vitesse de 45 kilom. à l'heure, un effort de 3kg.380 par tonne.
		325	35	740	
		326	42	700	
		327	45	700	
		328	48	700	
		329	50	650	
		330	50	575	
	Forgevieille.				

Machine 130. Courbe des trains à 45 kilomètres.

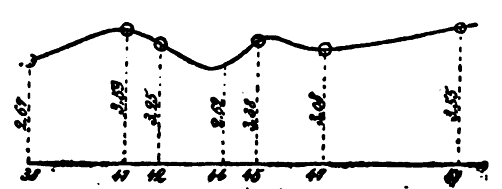


Tableau n° 4. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 60 kilomètres.

Désignation du train.	Stations extrêmes du parcours.	Numéros des poteaux.	Vitesses.	Efforts moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
7 juillet 1863. Train spécial à 60 kilom., 8 wagons pesant 73t.500.	Paris.	0	27	500	Altitude du poteau 0 = 35m.65. Altit. du poteau 9 = 37m.91. Différence = 1m.26. La rampe moyenne entre les poteaux 1 et 8 est $\frac{1.26}{9000} = 0.00014$. Moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux 442 kilogr. Effort par tonne correspondant $\frac{442}{73.5} = 6^{kg}.01$. Effort en palier $6^{kg}.01 - 0.14 = 5^{kg}.870$ à la vitesse moyenne de 53 kilom. Courbe de 1200 mètres et alignements. NOTA. Trajet très-court, travail considérable des freins pour l'arrêt. La valeur 5 kilg. 870 est évidemment exagérée.
		1	39	500	
		2	48	500	
		3	57	500	
		4	58	510	
		5	62	545	
		6	63	450	
		7	63	430	
		8	60	265	
	Choisy.	9			
	Juvisy.	19	48	350	Altitude du poteau 19 = 38 mètres. Altitude du poteau 27 = 63m.60. Différence = 25m.60. Rampe moyenne entre les poteaux 19 et 27 $\frac{25.60}{8000} = 0.00320$. Moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux, 543 kilog. Effort par tonne correspondant $\frac{548}{73.5} = 7^{kg}.45$. Effort en palier $= 7^{kg}.45 - 3^{kg}.20 = 4^{kg}.250$, à la vitesse moyenne de 58 kilomètres. Courbes de 1000 mètres nombreuses.
		20	58	475	
		21	60	590	
		22	62	580	
		23	60	590	
		24	55	600	
		25	58	600	
		26	63	600	
	Saint-Michel.	27			
8 juil. 1863. Train spécial à 60 kilom., 8 wagons pesant 73t.500.	Étampes.	56	38	875	Altitude du poteau 56 = 90m.99. Altitude du poteau 66 = 144m.80. Différence = 53m.81. La rampe moyenne entre le poteau 56 et le poteau 66 est $\frac{53.81}{10000} = 0.00538$. Moyenne des efforts obtenus entre les deux poteaux 750 kilogr. Effort par tonne correspondant $\frac{750}{73.5} = 10^{kg}.20$. Effort en palier $= 10^{kg}.20 - 5^{kg}.38 = 4^{kg}.820$ à la vitesse de 54 kilomètres. Courbes de 1400 mètres nombreuses.
		57	54	785	
		58	50	810	
		59	51	775	
		60	52	950	
		61	57	900	
		62	53	950	
		63	66	700	
		64	60	450	
		65	57	300	
	Guillerval.	66			
9 juil. 1863. Train spécial à 60 kilom., 8 wagons pesant 73t.500.	La Ferté.	144	40	800	Altitude du poteau 144 = 107 mètres. Altitude du poteau 122 = 118 mètres. Différence = 11 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 144 et le poteau 122 est $\frac{11^{m}}{22000} = 0.00050$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux 419 kilog. Effort par tonne correspondant $5^{kg}.70$. Effort en palier $= 5^{kg}.70 - 0^{kg}.50 = 5^{kg}.200$, à la vitesse moyenne de 61 kilomètres. Courbes de 3000 mètres et alignements.
		143	47	800	
		142	50	800	
		141	58	700	
		140	54	300	
		139	62	290	
		138	62	340	
		137	68	325	
		136	67	310	
		135	60	235	
		134	69	200	
		133	73	200	
		132	62	200	
		131	70	210	
		130	72	220	
		129	80	210	
		128	62	340	
		127	65	490	
		126	66	465	
		125	60	490	
		124	65	585	
		123	60	710	
	Orléans.	122			

Suite du tableau n° 4. — MACHINE 130 (à 4 roues accouplées).

Trains spéciaux à 60 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
10 juil. 1863. Train spécial à 60 kilom., 8 wagons pesant 73t.500.	Argenton.	295	32	1025	Altitude du poteau 295 = 112 mètres. Altitude du poteau 305 = 206 mètres. Différence = 94 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 295 et le poteau 305 est: $\frac{94}{10000} = 0.00940$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 1032^{kg}. Effort par tonne correspondant $\frac{1032}{73.5} = 14^{kg}.04$. Effort en palier = $14^{kg}.04 - 9^{kg}.40 = 4^{kg}.640$, à la vitesse moyenne de 51 kilom. Courbes de 1000 mètres nombreuses.
		296	45	1125	
		297	49	1200	
		298	54	1088	
		299	54	1050	
		300	54	1025	
		301	52	1088	
		302	56	1088	
		303	56	988	
		304	58	644	
		305			
11 juil. 1863. Train spécial à 60 kilom., 8 wagons pesant 73t.500.	Célon.	306	37	1255	Altitude du poteau 306 = 212 mètres. Altitude du poteau 323 = 324 mètres. Différence = 112 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 306 et le poteau 323 est $\frac{112}{17000} = 0.00659$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 781^{kg}. Effort par tonne correspondant $\frac{781}{73.5} = 10^{kg}.63$. Effort en palier = $10^{kg}.63 - 6^{kg}.59 = 4^{kg}.04$, à la vitesse moyenne de 49 kilomètres. Courbes de 1000 mètres.
		307	48	1220	
		308	60	1040	
		309	58	905	
		310	52	930	
		311	55	970	
		312	55	705	
		313	57	690	
		314	50	685	
		315	52	725	
		316	50	800	
		317	58	700	
		318	58	650	
		319	51	600	
		320	32	445	
		321	29	740	
		322	32	210	
		323			
	St-Sébastien.	324	52	1055	Altitude du poteau 324 = 329 mètres. Altitude du poteau 331 = 368 mètres. Différence 39 mètres. La rampe moyenne entre le poteau 324 et le poteau 331 est $\frac{39}{7000} = 0.00557$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux 753 kilogr. Effort par tonne correspondant $\frac{753}{73.5} = 10^{kg}.24$. Effort en palier = $10^{kg}.24 - 5^{kg}.57 = 4^{kg}.67$, à la vitesse de 61 kilomètres. Courbes de 1000 mètres.
		325	61	950	
		326	62	810	
		327	62	760	
		328	65	700	
		329	60	565	
		330	64	480	
	Forgevieille.	331			

Machine 130. Courbe des trains à 60 kilomètres.

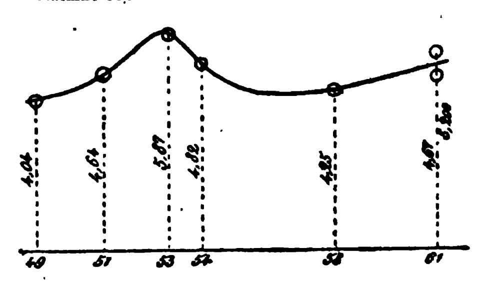


Tableau n° 5. — MACHINE 264 (à roues libres).
Train spécial à 60 kilomètres (de Paris à Orléans).

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens partiels.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
4 mars 1865. Train spécial à 60 kilm., 12 voitures à voyageurs lestées, pesant 100 t.	Paris.	0	10	865	Altitude du poteau 0 = $35^{m}.65$ mètres. Altitude du poteau 28 = 67 mètres. Différence = $31^{m}.65$. La rampe moyenne entre le poteau 0 et le poteau 28 est $\frac{31.35}{28000} = 0.00112$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = $643^{kg}.5$. Effort par tonne correspondant = $6^{kg}.436$. Effort en palier = $6^{kg}.435 - 1^{kg}.120 = 5^{kg}.315$, à la vitesse moyenne de 56 kilomètres.
		1	39	870	
		2	50	745	
		3	56	680	
		4	62	655	
		5	64	635	
		6	67	610	
		7	67	555	
		8	59	291	
		9	26	875	
		10	38	875	
		11	53	780	
		12	60	740	
		13	62	660	
		14	61	580	
		15	68	545	
		16	70	530	
		17	67	560	
		18	67	580	
		19	64	565	
		20	60	605	
		21	60	640	
		22	58	655	
		23	57	670	Courbes de 1000 mètres (nombreuses).
		24	57	680	
		25	57	715	
		26	56	705	
		27	6	200	
		28			
	Saint-Michel.				
		29	16	1200	Altitude du poteau 28 = 67 mètres. Altitude du poteau 55 = $88^{m}.89$. Différence = $21^{m}.89$. La rampe moyenne entre le poteau 28 et le poteau 55 est $\frac{21.89}{27000} = 0.00081$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 595^{kg}. Effort par tonne correspondant $\frac{595}{100} = 5^{kg}.95$. Effort en palier = $5^{kg}.95 - 0^{kg}.81 = 5^{kg}.140$, à la vitesse moyenne de 62 kilomètres.
		30	46	1085	
		31	53	885	
		32	65	805	
		33	57	805	
		34	61	775	
		35	61	725	
		36	60	690	
		37	67	512	
		38	67	400	
		39	70	440	
		40	70	480	
		41	67	480	
		42	67	365	
		43	64	380	Courbes de 1000 mètres (nombreuses).
		44	62	400	
		45	60	450	
		46	63	500	
		47	69	512	
		48	79	475	
		49	69	475	
		50	70	500	
		51	80	550	
		52	68	525	
		53	64	538	
		54	60	575	
	Etampes.	55			

Suite du tableau n° 5. — MACHINE 264 (à roues libres).

Train spécial à 60 kilomètres (de Paris à Orléans).

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens partiels.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
4 mars 1865. Train de 100 tonnes. (*Suite.*)	Étampes.	56	81	1005	Altitude du poteau 56 = 90m.99. Altitude du poteau 88 = 136m.29. Différence = 45m.30. La rampe moyenne entre le poteau 56 et le poteau 88 est $\frac{45.30}{32000} = 0.00141$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux 646kg. Effort par tonne correspondant $\frac{646}{100} = 6^{kg}.46$. Effort en palier = $6^{kg}.46 - 1^{kg}.41 = 6^{kg}.050$, à la vit… de 57 kilomètres.
		57	42	915	
		58	44	890	
		59	36	810	
		60	33	1005	
		61	38	1275	
		62	44	1200	
		63	47	969	
		64	55	715	
		65	62	590	
		66	55	545	
		67	65	495	
		68	62	490	Courbes de 1400 mètres (nombreuses).
		69	63	490	
		70	59	465	
		71	59	440	
		72	63	440	
		73	63	450	
		74	64	460	
		75	67	475	
		76	70	480	
		77	71	490	
		78	68	505	Alignement presque continu.
		79	68	505	
		80	61	500	
		81	67	500	
		82	70	500	
		83	80	550	
		84	60	475	
		85	70	505	
		86	65	430	
		87	36	100	
	Toury.	88			
		89	24	800	Altitude du poteau 89 = 134m.76. Altitude du poteau 120 = 118 mètres. Différence = 16m.76. La rampe moyenne entre le poteau 89 et le poteau 120 est $\frac{16.76}{32000} = 0.00052$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux 495kg. Effort par tonne correspondant $\frac{495}{100} = 4^{kg}.95$. Effort en palier = $4^{kg}.95 + 0^{kg}.52 = 5^{kg}.470$, à la vi… moyenne de 66 kilomètres.
		90	48	700	
		91	56	605	
		92	61	655	
		93	60	715	
		94	64	690	
		95	70	610	
		96	69	560	
		97	73	535	
		98	74	510	
		99	70	475	
		100	70	450	
		101	69	435	
		102	67	365	
		103	67	330	
		104	57	375	
		105	67	4[illegible]0	
		106	60	420	
		107	68	455	
		108	53	480	
		109	59	495	
		110	60	500	
		111	61	495	

Suite du tableau n° 5. — MACHINE 264 (à roues libres).

Train spécial à 60 kilomètres (de Paris à Orléans).

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens partiels.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
4 mars 1865. Train de 100 tonnes. (*Suite.*)		112	63	520	
		113	67	600	
		114	67	615	
		115	67	545	
		116	68	455	
		117	68	350	
		118	68	200	
		119	65	200	
		120	65	200	
	Orléans.				

Machine 264. Courbes des trains à 60 kilomètres.

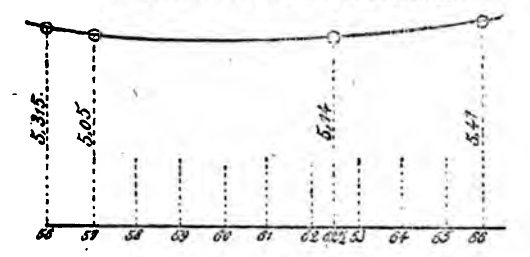


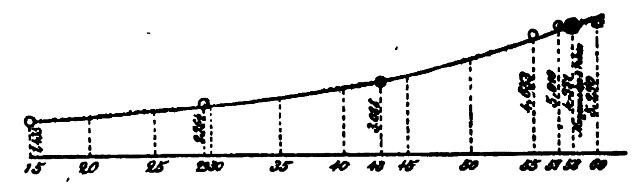
Tableau n° 6. — MACHINE 205 (à 4 roues accouplées).
Train spécial à 60 kilomètres.

DÉSIGNATION du train.	STATIONS extrêmes du parcours.	NUMÉROS des poteaux.	VITESSES.	EFFORTS moyens.	Détermination de l'effort moyen par tonne en palier.
4 mai 1865. Train spécial à 60 kilom., 14 voitures pesant 142 tonnes.	Paris.	4	52	1000	Altitude du poteau 4 = $35^{m}.30$. Altit. du poteau 27 = $63^{m}.60$. Différence = $28^{m}.30$. La rampe moyenne entre le poteau 4 et le poteau 27 est $\frac{28.30}{23000} = 0.00123$. Moyenne des efforts obtenus entre ces deux poteaux = 886 kg. Effort par tonne correspondant $\frac{886}{142} = 6^{kg}.24$. Effort en palier = $6^{kg}.24 - 123^{kg} = 5^{kg}.010$ à la vitesse moyenne de 57 kilomètres. Courbes de 1200 et 1000 mètres.
		5	54	935	
		6	59	835	
		7	57	855	
		8	54	925	
		9	61	890	
		10	60	790	
		11	60	770	
		12	58	835	
		13	56	930	
		14	57	840	
		15	59	745	
		16	64	770	
		17	64	775	
		18	61	775	
		19	57	785	
		20	55	940	
		21	52	990	
		22	52	1080	
		23	55	1165	
		24	54	1085	
		25	53	1078	
		26	55	1280	
	Saint-Michel.	27			

Tableau n° 7. — RÉSUMÉ.

MACHINES.	PARCOURS.	DISTANCES kilométriques.	EFFORT moyen développé en palier.	PRODUIT de l'effort par la distance kilométrique.	MOYENNE des efforts par tonne.	VITESSES moyennes correspondantes.	MOYENNE des vitesses.
	Trains à 60 kilomètres.						
		km.	kg.	km.	kg.		km.
Machine 136. Juillet 1863.	Paris à Choisy............	7	5.87	45.78		53	
	Juvisy à Saint-Michel.......	8	4.25	34		58	
	Étampes à Guillerval.......	10	4.82	48.20		54	
	La Ferté à Orléans.........	22	5.20	114.40	4.653	61	56
	Argenton à Célon	10	4.64	46.40		51	
	Célon à Saint-Sébastien.....	17	4.04	68.68		49	
	St-Sébastien à Forgevieille..	7	4.67	32.69		61	
Machine 264. 4 mars 1865.	Paris à Choisy	7	5.31	127.56		56	
	Choisy à Saint-Michel	17					
	Saint-Michel à Étampes.....	26	5.14	133.64	5.250	62	60
	Étampes à Toury..........	23	5.05	116.15		57	
	Toury à Orléans	27	5.47	147.69		66	
Machine 205. 4 mai 1865.	Paris à Saint-Michel.......	23	5.10	117.30	5.010	57	57
	Trains à 45 kilomètres.						
Machine 130. Juillet 1863.	Paris à Choisy............	8	3.25	26.00		42	
	Juvisy à Saint-Michel.......	7	2.62	18.34		44	
	Etampes à Guillerval.......	9	3.59	32.31		41	
	Poteau 130 à Orléans	8	3.55	28.40	3.088	51	43
	Argenton à Eguzon	19	2.67	50.73		38	
	Eguzon à Saint-Sébastien....	5	3.08	15.40		47	
	Saint-Sébastien à Forgevieille.	6	3.38	20.28		45	
	Trains à 30 kilomètres.						
Machine 130. Juillet 1863.	Paris à Choisy............	9	2.56	23.85		27	
	Juvisy à Saint-Michel.......	6	1.64	9.84		29	
	Etampes à Guillerval	9	2.32	20.88	2.264	29	29
	Argenton à Saint-Sébastien..	27	2.330	62.91		26	
	Saint-Sébastien au poteau 328	4	2.410	9.64		32	
	Trains à 15 kilomètres.						
Machine 130. Juillet 1863.	Juvisy à Saint-Michel.......	6	1.60	9.60		14.6	
	Etampes à Guillerval.......	10	1.39	13.90		14.3	
	La Ferté au poteau 139.....	5	1.52	7.60		15	
	Poteau 130 à Orléans......	8	2.03	16.24	1.435	15.5	15
	Argenton à Célon.........	8	1.06	8.48		14	
	Célon à Saint-Sébastien.....	17	1.35	23.12		15.3	
	Saint-Sébastien à Forgevieille.	6	1.20	7.20		15	

Représentation graphique des efforts par tonne obtenus pour les trains de 15 à 60 kilomètres.



Dans le tableau ci-contre, le produit de l'effort par la distance kilométrique sert à déterminer la moyenne des efforts par tonne, en donnant à chaque expérience une importance proportionnelle au nombre de kilomètres parcourus.

Nota. Les valeurs encadrées n'entrent pas dans les moyennes. (Voir les expériences qui les ont fournies.)

Afin de rendre sensible à l'œil la méthode de calcul suivie dans les tableaux précédents, pour obtenir l'effort par tonne en palier, entre deux arrêts, nous avons représenté graphiquement les résultats fournis par le train spécial à 60 kilomètres (4 mars 1865) tonnage de 100 tonnes (Pl. 3).

La construction est basée sur les observations théoriques présentées au commencement du paragraphe X.

Spécimen de représentation graphique (Pl. 3).

TRAIN SPÉCIAL (du 4 mars 1865) A 60 KILOMÈTRES (*machine n° 264*) ENTRE PARIS ET ORLÉANS.

Composition du train . . . . . 12 voitures à voyageurs (dynamomètre compris). Les voitures étaient lestées avec du fer et de la fonte.
Poids du train. . . . . 100 tonnes (poids exact relevé sur la bascule).
Wagon dynamométrique. . . . 3546. Nombre des lames accouplées, 6.
Circonstances atmosphériques. Beau temps, rail sec, peu de vent.

La courbe des efforts par tonne est obtenue en prenant pour abscisses les distances kilométriques, et pour ordonnées les efforts par tonne, accusés par le dynamomètre.

Le tracé du profil est obtenu en construisant des rectangles ayant pour base la longueur des rampes considérées, et pour hauteur le chiffre qui mesure l'inclinaison.

Afin que la quadrature de la courbe des efforts par tonne et la quadrature du tracé des profils soient de même nature et puissent se retrancher l'une de l'autre, on a pris la même échelle pour représenter l'effort de traction par tonne et l'action de la gravité par tonne, soit 0m.01 par kilogramme. Les deux quadratures donnent, l'une, l'effort moyen, l'autre, le profil moyen.

La différence entre l'effort moyen et le profil moyen donne l'effort par tonne, en palier à la vitesse moyenne du trajet. Les quatre valeurs obtenues par les quatre trajets sans arrêt de Paris à Saint-Michel, de Saint-

Michel à Étampes, d'Étampes à Toury, de Toury à Orléans, correspondent à des vitesses dont la moyenne est 60 kilomètres, et font connaître très-approximativement l'effort par tonne pour cette dernière vitesse (5k,25).

Nous nous proposons de donner à la Société des Ingénieurs civils le reste des travaux entrepris par la Compagnie d'Orléans pour tout ce qui intéresse la traction des chemins de fer. D'autres documents feront suite au présent Mémoire, en vue de comparer nos résultats avec ceux consignés dans l'excellent travail publié par les ingénieurs de la Compagnie de l'Est.

Juin 1868.

NOTE

SUR LA MÉTHODE

DE CONDUITE ET D'ÉLAGAGE DES ARBRES FORESTIERS,

DE MM. LE VICOMTE DE COURVAL ET LE COMTE DES CARS,

PAR M. ROUYER.

Il y a une quarantaine d'années, M. le vicomte de Courval, propriétaire de deux mille hectares de forêts, remarqua l'état d'abandon dans lequel étaient laissés les arbres de haute futaie, et frappé des désordres graves qui en résultaient pour l'aménagement de nos bois de construction, il chercha et trouva des moyens pratiques pour obvier à ces inconvénients.

Les arbres forestiers, abandonnés à eux-mêmes, croissaient à l'aventure, et personne ne se doutait qu'il pût exister un moyen rationnel de diriger la séve pour la forcer à augmenter son produit utile et favoriser le développement de la partie industrielle de l'arbre, le tronc.

Si, pour une cause quelconque, une branche d'arbre venait à mourir, on ne s'en préoccupait guère, et les rares silviculteurs qui cherchaient à obvier aux conséquences de cet accident se contentaient de couper la



Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

branche à quelques décimètres du tronc (fig. 1, 2 et 3). C'est du reste ainsi que l'on procédait encore quand l'on reconnaissait utile de supprimer une branche.

Dans tous les cas, la vie étant absente de la branche ou du chicot, tout était absolument détruit par la carie, et à la place de la branche restait un trou (fig. 10) par lequel les agents de destruction pénétraient jusqu'au cœur de l'arbre et lui ôtaient toute valeur industrielle.

Cet état de choses, ainsi qu'on peut s'en convaincre par un simple examen, persiste encore en dehors de l'école fondée par M. le vicomte de Courval, dont les patients efforts pour arriver à remédier au mal furent couronnés par un succès complet. Voulant faire profiter le pays de ses découvertes, il publia une brochure résumant le cours qu'il faisait dans sa commune, et il mit ses gardes-forestiers à la disposition des personnes qui désiraient se familiariser, par la vue de l'application, avec les principes qu'il leur avait enseignés dans son cours.

Plus heureux que beaucoup de novateurs, M. le vicomte de Courval, arrivant à un âge où l'on peut légitimement songer au repos, eut la bonne fortune de voir son œuvre comprise et défendue avec une ardeur et une intelligence rares par M. le comte des Cars, auquel le désir de vulgariser cette belle méthode a inspiré un petit opuscule, chef-d'œuvre de clarté méthodique, bien que suffisamment élémentaire pour mettre rapidement un ouvrier intelligent à même de pratiquer les préceptes qu'il contient.

Heureux les maîtres auxquels il est ainsi donné de voir leur œuvre défendue avec un tel zèle par leurs successeurs; ils peuvent se livrer au repos avec cette tranquillité que donne l'assurance d'avoir fondé une œuvre utile et durable.

Après avoir rendu un court hommage à deux hommes dont les travaux sont si bien appréciés de tous ceux qui les connaissent, nous allons essayer de résumer brièvement leurs préceptes.

Et d'abord, pour fixer l'attention sur l'importance de la question, disons que la France paye annuellement à l'étranger pour cent millions de bois de construction qu'elle trouverait sur son sol s'il était mieux aménagé, et si la méthode en question était vulgarisée. C'est donc avec l'espoir d'aider ces messieurs à rendre à notre pays un service important, que nous cherchons à inspirer à ceux que la question intéresse, le désir de posséder le traité pratique d'élagage des arbres de M. le comte des Cars, et le grand ouvrage que M. le vicomte de Courval espère pouvoir publier prochainement sur le même sujet.

M. de Courval, et avec lui M. des Cars, qui se fait honneur d'être son élève, sont seuls arrivés à une solution complète du double problème *de la conduite des arbres forestiers en vue d'une production utile plus rapide et plus grande*, et de *l'enlèvement des branches avec cicatrisation de la plaie sans la moindre carie*.

Il n'est personne qui, dans ses promenades à travers la campagne, n'ait eu occasion d'admirer ces chênes majestueux qui se trouvent en

assez grand nombre dans nos bois et nos haies; comme paysage, ils satisfont l'œil, mais comme profit, ils donnent rarement une entière satisfaction aux désirs légitimes du propriétaire : le plus souvent le tronc, qui est la partie utile de l'arbre, n'a *qu'une faible hauteur* par rapport au développement total des branches charpentières; et *celles-ci prenant une direction presque verticale absorbent la majeure partie de la formation ligneuse, sans profit pour le propriétaire.*

Cette remarque devait inspirer à celui qui la ferait l'idée de rechercher si, de même que, pour les arbres fruitiers, l'on modifie le cours de la séve de façon à produire des fruits de préférence à du bois, il n'y aurait pas possibilité, pour les arbres forestiers, de diriger la séve de façon à développer le tronc de préférence aux branches, c'est-à-dire à concentrer sur la partie industrielle de l'arbre la plus grande partie de la formation ligneuse avec tant de prodigalité dépensée à développer d'énormes branches charpentières qui n'ont qu'une faible valeur vénale.

C'est un élagage judicieux qui peut conduire à ce résultat; mais il fallait trouver les moyens d'enlever des branches un peu grosses sans donner lieu à la carie. Tel est le double résultat obtenu par la méthode en question.

Il n'est pas inutile, pour l'intelligence des développements dans lesquels nous entrerons, de rappeler en quelques mots comment se forme le bois.

Chacun sait que les racines ont pour fonction de puiser dans le sol, par leurs spongioles, les éléments nécessaires pour former la *séve brute*, l'eau et les sels minéraux; mais ces éléments ne sont pas encore aptes à former le bois proprement dit, ils ne peuvent que fournir aux bourgeons qui terminent les branches de quoi accomplir ce travail mystérieux d'où résulte la production des feuilles. Des racines aux feuilles s'établit donc à travers le ligneux, ou seulement l'aubier si l'arbre est très-gros, un courant ascendant de séve brute; le contact de l'air produit dans les feuilles des phénomènes analogues à ceux qui se produisent dans la respiration des animaux, mais en sens inverse, puisque c'est l'acide carbonique qui est absorbé et décomposé; le carbone est retenu et entraîné par la séve brute, l'oxygène rendu libre et l'eau, puisée en excès dans le sol, se dégagent dans l'atmosphère.

Après cette élaboration, la séve devient apte à former le bois, et à partir de ce moment s'établit un courant des feuilles vers les racines, mais dans des canaux autres que ceux dans lesquels se produit le premier courant. C'est dans le liber, ou partie de l'écorce la plus rapprochée du bois, que s'effectue cette seconde partie de la circulation pendant laquelle se forme le bois. Il est facile de vérifier le fait par expérience, en pratiquant une ligature serrée sur une branche, ou en faisant une section annulaire dans l'écorce; on verra la séve former dans le premier

cas un bourrelet de bois au-dessus de la ligature, et dans le second cas une sorte de lèvre, qui s'avancera de la partie supérieure de la section pour recouvrir toute la partie dénudée. Si l'on pratiquait dans l'écorce une section verticale, on remarquerait encore la formation de cette lèvre sur les bords verticaux de la section, parce que les canaux séveux communiquent facilement entre eux, et comme la section pratiquée laisse à la séve la facilité de s'écouler, elle reproduira encore ici au contact de l'air la formation de la lèvre dont nous avons déjà parlé; mais nous ne verrons jamais cette lèvre se former de prime-abord sur la partie d'une plaie située au-dessous d'une coupure transversale.

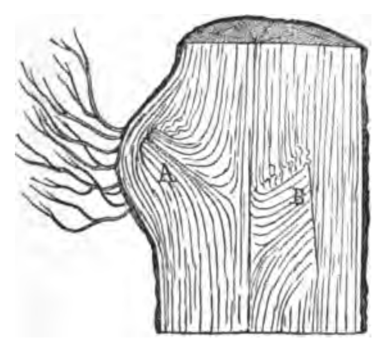


Fig. 4.

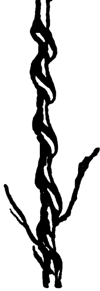


Fig. 5.

La nature s'était elle-même chargée d'appeler l'attention de l'homme sur ce phénomène, par les ligatures que produisent certaines plantes grimpantes, telles que le chèvrefeuille, sur les végétaux voisins (fig. 5).

C'est donc bien le courant descendant qui charrie à travers l'écorce les éléments propres à former le bois et *les répartit sur tout son parcours, depuis les feuilles jusqu'aux racines.*

Or ce parcours se compose de trois parties : les branches, le tronc et les racines, et s'il n'est pas en notre pouvoir de modifier la longueur de cette dernière partie, nous pouvons au moins modifier les proportions relatives des deux premières. Le résultat de cette modification sera, tout en conservant la forme extérieure de l'arbre, de raccourcir les branches et de reporter sur le tronc une grande partie de la séve, qui eût été, sans grand profit, dépensée sur des branches ayant une direction presque verticale.

Ce résultat sera atteint si l'on ramène à la direction horizontale les branches de l'arbre, car l'on relève ainsi le plus possible leur point d'attache et on les raccourcit. Le développement du tronc, favorisé par cette première opération, le sera encore davantage par l'enlèvement méthodique des branches appartenant aux couronnes inférieures; ce n'est pas tout.

Il faut aussi conserver à l'arbre une flèche, deux au plus, mais rarement; cette flèche, ayant une direction bien d'aplomb sur l'arbre et étant bien verticale, produit par ce seul fait un appel énergique de la séve, et se développe rapidement.

Le maintien de la flèche verticale, la suppression des branches de la couronne inférieure et la direction le plus possible horizontale des autres, telles sont les conditions qui favorisent le développement du tronc de l'arbre.

De ces trois conditions, deux conduisent à l'enlèvement de certaines branches sur l'arbre; mais quelles règles devra-t-on suivre pour procéder à ces retranchements.

Il est clair que si l'on enlève un trop grand nombre de branches à la fois, la séve brute ne trouvant pas, dans les branches qui restent, une quantité de bourgeons suffisante pour l'utiliser complétement, une partie de cette séve s'écoulera par les plaies faites à l'arbre, se décomposera au contact de l'air et sera ainsi transformée en un agent de destruction très-énergique; ou bien elle produira tout autour de la plaie de nombreux rejets qu'il faudra avoir grand soin de supprimer, si l'on ne veut pas qu'ils donnent lieu à la formation de nœuds gênant la circulation de la séve.

C'est là un fait dont on est souvent témoin dans nos campagnes : des gens ignorants élaguent le chêne comme on élague l'orme, en ne lui laissant qu'un faible bouquet de feuilles au sommet; aussi l'arbre se garnit rapidement, du haut en bas, de rejets qui, s'ils ne sont gênés par aucun voisinage, croissent d'autant plus rapidement qu'ils sont plus voisins du sol, de sorte qu'après un certain temps les branches inférieures absorbent complétement la séve au détriment de la cime qui se couronne, et l'arbre meurt.

Cette taille, qui donne de bons résultats pour l'orme, parce qu'on la renouvelle souvent de façon à ce que les branches adventives inférieures n'aient pas le temps d'absorber à leur profit toute la séve venue du sol, produit infailliblement sur le chêne le résultat que nous venons d'indiquer, parce qu'elle n'est pas assez souvent répétée, et que le chêne n'est pas doué d'une puissance végétative aussi énergique que celle de l'orme.

Si au contraire on ne coupe pas un nombre suffisant de branches, la séve n'arrive pas en assez grande quantité dans chacun des bourgeons trop nombreux, et la croissance de l'arbre est ralentie parce que la végétation n'est plus assez active.

Il existe donc une certaine relation entre le développement des racines et la surface feuillue de l'arbre; encore n'est-il pas indifférent que cette surface soit produite par un grand nombre de petites feuilles ou par un petit nombre de feuilles arrivées à tout leur développement.

L'expérience prouve que la vie végétative s'accomplit mieux dans le dernier cas que dans le premier, et corrobore ainsi l'utilité de l'enlèvement de certaines branches pour réduire le nombre des feuilles. C'est un fait analogue à ce qui se produit dans les arbres fruitiers, au sujet desquels l'on a depuis longtemps reconnu que la production totale était augmentée par l'ablation d'un certain nombre de fruits sur les sujets trop chargés.

L'expérience a conduit M. le vicomte de Courval, pour satisfaire à ces exigences variées, à donner *à la partie feuillue de l'arbre de la moitié au tiers de la hauteur totale*, la première proportion convenant mieux pour les jeunes sujets, et la seconde devant être préférée pour les sujets d'un certain âge.

Voilà donc une nouvelle règle résultant d'une pratique longue et attentive.

Mais quand on veut enlever les branches de couronnes inférieures, on ne doit pas les enlever d'un seul coup, on commence par les raccourcir de façon à donner à la tête de l'arbre une forme ovoïde, d'autant plus étroite qu'il est plus jeune, parce que les faibles dimensions de son tronc ne lui permettent pas aussi bien de résister aux vents et au poids de la neige et du givre. A mesure que l'arbre grandit, on laisse l'ovale s'élargir horizontalement, jusqu'à atteindre la forme sphérique pour les arbres séculaires. Il faut avoir soin, en procédant au raccourcissement des branches, de leur conserver des rameaux d'appel, pour entretenir la vie dans le chicot; on conserve de préférence ceux qui sont en dessous des branches (fig. 6 et 7, B), pour éviter qu'ils ne prennent trop de développement, ce qui arriverait pour les rameaux situés au-

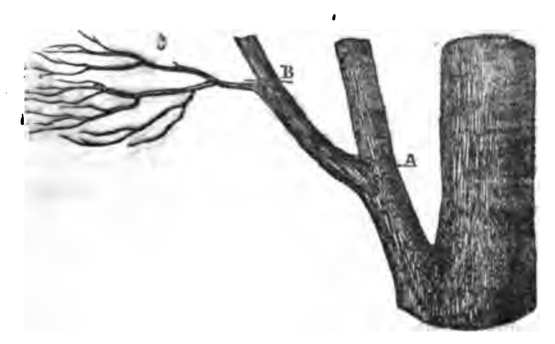


Fig. 6.

dessus (fig. 6 et 7, A), et ayant par suite une direction verticale. L'absence de rameaux d'appel entraînerait la mort du chicot et peut-être même la carie de l'arbre.

Pour les personnes encore peu expérimentées et craignant de com-

mettre des erreurs dans le choix des branches à supprimer, nous leur recommandons l'emploi du *dendroscope* de M. le comte de Cars. C'est un petit appareil formé d'une feuille de carton, dans laquelle on découpe une ouverture ayant la forme que doivent avoir la tête et le

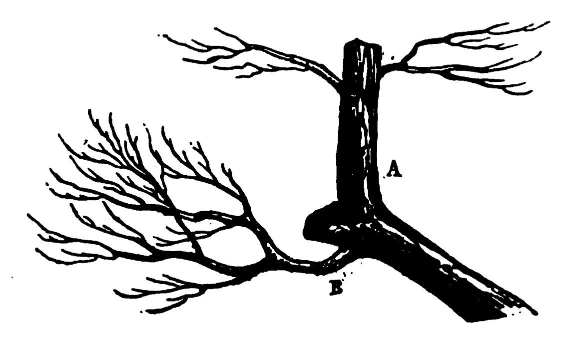


Fig. 7.

tronc de l'arbre, d'après son âge; en regardant le sujet à travers cette ouverture (fig. 8), disposée de façon que son axe soit vertical, on peut se rendre compte des opérations à exécuter.

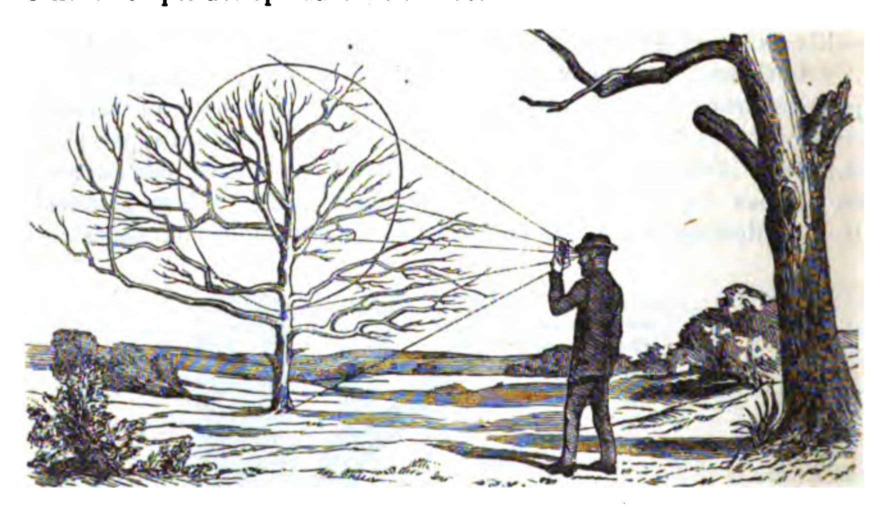


Fig. 8.

Quelques années après le raccourcissement des branches inférieures, on rabat les chicots; mais si les branches sont grosses, on n'en coupe que un ou deux à la fois, rarement trois.

Nous avons vu comment, pour allonger le plus possible le tronc de l'arbre, on était amené à enlever les branches des couronnes inférieu-

res, et comment, pour favoriser son grossissement, on était conduit à maintenir la flèche le plus droit possible, tout en supprimant les branches verticales pour ne conserver que celles dont la direction se rap-

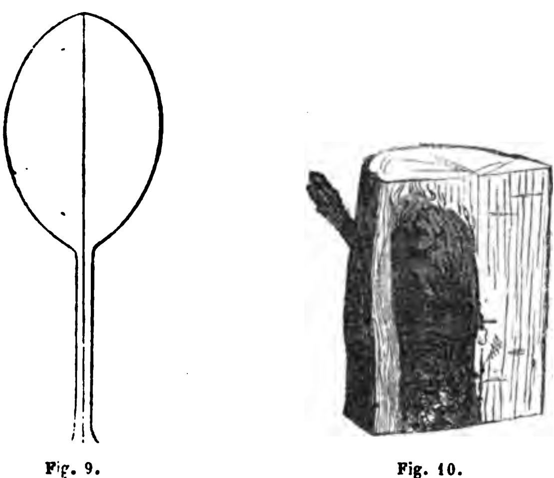


Fig. 9. Fig. 10.

proche de l'horizontale; il nous reste à indiquer les précautions indispensables pour que ces suppressions de branches n'entraînent aucun désordre grave dans l'arbre.

Nous avons dit, en commençant, que le défaut des silviculteurs, qui se trouvaient amenés à couper des branches, était de laisser des chicots plus ou moins longs, et dépourvus de rameaux d'appel, de sorte que la séve ne circulant plus dans le moignon conservé, toute vie s'en retire et il finit par pourrir et tomber comme les branches mortes abandonnées à elles-mêmes, mais dans un temps plus court (fig. 2, 3 et 10).

Pendant que s'opère ce travail de destruction, la séve descendante, rencontrant sur son trajet un obstacle, le contourne en formant chaque année à la base du chicot une nouvelle couche de bois. La superposition de ces couches successives arrive rapidement à former un nœud très-dur, dans lequel la séve circule fort mal; de sorte que, quand la branche ou le chicot pourris viennent à tomber, il reste un trou, par lequel tous les agents de destruction, insectes ou agents atmosphériques, s'introduisent librement jusqu'au cœur de l'arbre et finissent par en entraîner la carie totale. Les oiseaux aident eux-mêmes énergiquement à ce travail de dévastation, en agrandissant le trou soit pour se nourrir des insectes qui s'y trouvent, soit pour y faire leurs nids.

Le mal est alors irréparable, car le trou ne peut plus se fermer, puisqu'il s'est formé tout autour un bourrelet très-dur, dans lequel la sève ne circulant presque plus, ne peut plus recouvrir la plaie à l'aide de nouvelles formations de bois.

Quel sera donc le remède efficace à ce mal inévitable, et qui entraîne forcément la perte de l'arbre au bout d'un temps plus ou moins long? Le seul qui produise des résultats certains est celui proposé par M. le vicomte de Courval : il consiste à couper la branche condamnée *verticalement et le plus rez tronc possible*, de façon que la *section très-unie et légèrement bombée au centre raccorde par ses bords la surface de l'aubier; puis on recouvre la plaie d'une couche de coaltar* (fig. 1, AC; 4, B; et 21).

Déjà, par le seul fait de la section verticale et rez tronc, la séve, descendant dans le liber par des canaux interrompus, va pouvoir s'étaler facilement sur la coupe en formant d'abord sur le bord supérieur, puis sur les bords verticaux un bourrelet de matière visqueuse, mais prenant rapidement sous l'action de l'air la consistance ligneuse; les bords inférieurs de ce bourrelet finissent bientôt par se rejoindre, et la plaie pourrait se recouvrir petit à petit et même d'une façon complète, si elle n'était pas bien grande.

Mais la section verticale et rez tronc des branches ne serait pas d'une efficacité certaine pour les plaies un peu grandes, car les agents atmosphériques pourraient commencer à produire la carie avant le complet recouvrement, et une fois qu'il se serait produit, par suite d'un commencement de carie, des rugosités et des trous sur la surface de la plaie, la séve ne trouvant plus là une surface lisse qui favorise sa tendance à l'épanchement, le travail de recouvrement serait ralenti et peut-être même arrêté complétement dans certains cas.

C'est pour obvier à ces conséquences funestes que M. le vicomte de Courval recouvre la plaie de coaltar, seul agent d'une efficacité certaine. Le coaltar cautérise la plaie, empêche les agents atmosphériques de produire la carie en arrêtant l'épanchement de la séve brute par l'extrémité des canaux coupés, et *éloigne complétement les insectes dévastateurs*. De plus, en conservant indéfiniment à la section sa surface lisse, le coaltar *favorise beaucoup le recouvrement de la plaie, quelque grande qu'elle soit*.

Si, après que le recouvrement de la plaie par du nouveau bois est complet, on donne un trait de scie (fig. 4, B) perpendiculaire à l'ancienne plaie, au lieu d'un trou causé par la carie, on observe dans la pièce de bois à peine une légère fissure parallèle aux fibres du bois, et nuisant moins à sa solidité que les fentes bien autrement considérables produites par la dessiccation.

Nous ne pouvons passer sous silence une objection faite à ce système par un professeur très-distingué : il lui reproche de produire des plaies considérables en coupant les branches verticalement, surtout quand leur direction se rapproche de la verticale, et il conseille de couper les branches le plus près possible du tronc, *mais transversalement* à sa direction (fig. 1, AB), afin de réduire la plaie aux dimensions minima. Ce

que nous avons dit de la formation du bois par la séve descendante montre que le moindre obstacle qu'elle rencontre sur son chemin empêche le recouvrement de s'effectuer d'une façon complète. Et, en effet, les branches coupées, suivant le procédé de M. Du Breuil, éprouvent bien un commencement de recouvrement par la partie supérieure, mais au-dessous de ce moignon, si court qu'il soit, l'écorce finit par se dessécher et tomber, en laissant une portion de bois, privée de vie, exposée à l'action des agents atmosphériques et des insectes destructeurs, de sorte que dans la plupart des cas la carie se développe aussi bien que si l'on n'avait appliqué aucun traitement à la plaie (fig. 11).


Fig. 11.

La seule bonne manière d'enlever une branche consiste donc à la couper rez tronc et verticalement, quelle que soit sa direction, et à couvrir la plaie de coaltar; mieux vaut encore une plaie considérable avec certitude de guérison, qu'une plaie moindre avec de nombreuses chances de carie.

Quand on coupe une branche, surtout si elle est un peu grosse, il vaut mieux commencer par la couper en dessous (fig. 20), jusqu'au tiers ou à la moitié de son épaisseur, et on achève de la couper par en dessus, parce que, sans cela, la branche en tombant pourrait entraîner de grands éclats d'écorces qui produiraient des plaies considérables.

Quand on soumet pour la première fois à l'élagage des arbres âgés, on est forcément entraîné à faire de grandes plaies; mais si les arbres sont conduits graduellement dès leur jeunesse, d'après les principes énoncés plus haut, les plaies seront toujours de très-faible importance.

Cette opération est loin d'être aussi coûteuse qu'elle le paraît au premier abord : pratiquée sur de gros arbres pour la première fois, elle fournit assez de bois pour couvrir, et au delà, les frais auxquels elle entraîne; pratiquée sur de jeunes sujets, elle est peu coûteuse, puisqu'elle ne nécessite que peu de main-d'œuvre.

Cela est bien, dira-t-on, pour des arbres vigoureux ou conduits avec soin, mais cette méthode empêchera-t-elle la perte d'arbres atteints de la carie?

Distinguons, au point de vue commercial, cette méthode, ni aucune autre, ne peut rendre à l'arbre la valeur qu'il a perdue par l'incurie de son propriétaire; mais il y a des arbres auxquels on tient au moins autant pour la situation qu'ils occupent dans le paysage, que pour leur valeur vénale. La méthode en question peut, *avec certitude, et à l'exclusion d'aucune autre,* conserver à ces arbres leur valeur de position, en arrêtant

complétement la carie, et prolongeant par suite, d'une manière indéfinie, la durée de leur existence. Le remède est bien simple et n'est pas sans





Fig. 12.



Fig. 13.

analogie avec ce que font les dentistes qui plombent une dent cariée. Il consiste à nettoyer parfaitement la plaie en l'avivant autant que possible et à l'enduire de coaltar pour détruire tous les insectes et leurs œufs; puis on remplit le trou soit avec un tampon de bois (fig. 12 et 13), soit avec une matière quelconque, pourvu qu'elle ne soit pas hygrométrique, comme du mortier, du béton..., etc., et on a soin que la surface de cet enduit raccorde bien la surface du ligneux de l'arbre : on étend par dessus une couche de coaltar, et au bout d'un temps plus ou moins long la plaie est complétement recouverte par l'écorce. A partir de ce moment, l'arbre qui n'a plus de danger à courir reprend de la force et peut vivre fort longtemps.

Cette méthode de conduite des arbres présente des avantages considérables, au point de vue de la croissance des végétaux qui se trouvent dans leur voisinage. Nous avons vu que l'action de l'air sur les feuilles était nécessaire pour transformer la séve brute en une séve capable de former du bois; ajoutons que l'action de la lumière n'est pas moins utile puisque sous son influence les feuilles décomposent l'acide carbonique de l'air et fixent son carbone, tandis que dans l'obscurité c'est un phénomène inverse qui se produit : les feuilles absorbent l'oxygène de l'air qui brûle leur carbone et elles émettent de l'acide carbonique. Ces deux phénomènes se combinent pour donner une grande variété de résultats selon les conditions physiques dans lesquelles vivent les végétaux, depuis l'obscurité complète jusqu'à la pleine lumière; et nous voyons immédiatement les fâcheux effets que peuvent produire sur les végétaux voisins les arbres qui projettent une ombre épaisse. En supprimant, comme on le fait dans cette méthode, les branches des couronnes inférieures des grands

arbres, on diminue dans des proportions considérables les fâcheux effets de leur voisinage, et l'on peut arriver à un aménagement de forêts en taillis sous haute futaie qui, tout en produisant un grand nombre de beaux arbres, ne diminue pas sensiblement la production du taillis que le sol est capable de fournir.

En résumé, les avantages de cette méthode sont les suivants :

1° Croissance plus rapide et plus régulière du tronc des arbres et par conséquent accroissement du produit;

2° Certitude de préserver tous les sujets de la carie;

3° Suppression presque complète des inconvénients du voisinage de grands arbres pour le développement des végétaux voisins, par suite de l'ombre qu'ils donnaient.

Après avoir indiqué sommairement les principes généraux de la méthode de conduite des arbres forestiers présentés à l'Exposition par MM. de Courval et des Cars, nous allons très-brièvement donner quelques explications sur son application aux divers âges des arbres.

La vie des arbres forestiers peut être divisée en quatre âges principaux, désignés ainsi :

1° Baliveau, jusqu'à 40 ans environ;

2° Moderne, de 40 à 80 ans;

3° Ancien, de 80 à 150 ans;

4° Vieille écorce après 150 ans.

Les jeunes baliveaux sont toujours faibles; nous avons déjà dit que pour éviter qu'ils ne souffrent du vent, de la neige ou du givre, on raccourcissait toutes les branches sur la moitié de la hauteur, de façon à donner à la tête une forme ovale très-allongée dans le sens vertical, et on supprime toutes les branches de la moitié inférieure. Malgré cela, il peut arriver que la tête de l'arbre soit courbée par le vent : il est facile de remédier aux conséquences de cet accident, et de refaire un arbre droit de cet arbre difforme. Pour cela on choisit, au-dessous du point où s'est produite l'inflexion, un rejet vigoureux que l'on ramène à la direction verticale en l'attachant à la flèche principale soit à l'aide d'un lien, soit simplement à l'aide d'une petite branche de l'arbre même servant de lien (fig. 14; fig. 15, B); puis on rabat la flèche de l'arbre à un mètre ou un mètre cinquante au-dessus de la naissance du rejet qui formera la flèche nouvelle, de façon à conserver sur ce long chicot des rameaux d'appel qui y entretiennent la vie. Mais il faut veiller à ce que ces rameaux ne prennent pas eux-mêmes trop de développement.

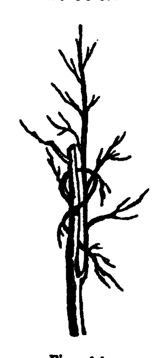


Fig. 14.

Par le seul fait de l'avoir ramené à la direction verticale, le rejet qui doit former la nouvelle flèche prendra en peu de temps assez de force pour qu'on puisse rabattre rez tronc le chicot conservé ; on panse au coaltar, et quelques années après l'arbre est devenu magnifique.

Quand un baliveau présente deux flèches, comme cela arrive souvent, on ne conservera que celle qui est le plus d'aplomb sur l'arbre, fût elle la moins vigoureuse.

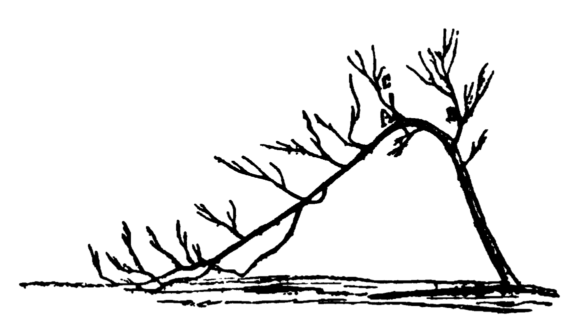


Fig. 15.

Pour avoir des arbres de belle venue et solides, il est préférable de prendre des baliveaux francs de pied : pourtant nous avons remarqué chez M. le vicomte de Courval deux et jusqu'à trois modernes venus sur la même souche, et qui paraissaient avoir individuellement pris à peu près autant de développement qu'un moderne franc de pied et du même âge. Malgré cela, il est prudent de s'abstenir de conserver les baliveaux sur souche, parceque la souche peut se carier et entraîner la perte de l'arbre.

Le moderne est l'arbre qui demande le traitement le plus attentif et le plus judicieux. Il est rare qu'avec des soins on n'arrive pas encore à remédier à tous les défauts qu'il peut présenter, mais mieux vaut excès de prudence que trop de hardiesse dans le traitement.

A sa troisième période, l'arbre atteint son maximum de hauteur : on laisse ses branches s'allonger dans le sens horizontal ; en enlevant avec précaution les branches de couronnes inférieures, on peut favoriser considérablement le développement de tout ce qui peut en hauteur dépasser la moitié de la hauteur totale de l'arbre.

Le raccourcissement des branches pourrait bien aussi être suivi de l'emploi du coaltar, mais si la branche est coupée loin du tronc et conserve un nombre de rameaux d'appel suffisants pour y entretenir la vie, cette précaution n'a guère d'importance.

Quand dans le voisinage d'un ancien se trouve un baliveau qui pourrait être gêné par les branches du voisin, on les raccourcit bien plus énergiquement qu'on ne le ferait dans les cas ordinaires, de façon à laisser circuler librement l'air entre les deux : c'est ce que M. le vicomte de Courval appelle faire des cheminées.

Les vieilles écorces qui ont été abandonnées à elles-mêmes présentent souvent des tronçons desséchés ou des nodosités couvertes de rejets (fig. 16 et fig. 4, A). Il ne faut pas hésiter à enlever tous ces nœuds ou tronçons, à aviver toutes les plaies, anciennes ou recouvertes, et à les

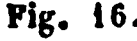


Fig. 16.


Fig. 17.

enduire de coaltar (fig. 17); et l'arbre qui avait été affaibli par une circulation incomplète de la séve reprendra bientôt un aspect de vigueur extraordinaire, parce que les canaux de séve, qui étaient atrophiés par les nœuds, seront remplacés par d'autres où la circulation se fera beaucoup mieux.

Il arrive aussi quelquefois que, par suite de meurtrissures accidentelles, l'écorce a cessé d'adhérer au tronc et sert de réceptacle à des insectes dangereux; il faut alors enlever complétement l'écorce endommagée, et enduire la plaie de coaltar pour chasser les insectes et favoriser son recouvrement.

La meilleure saison pour élaguer est l'automne; mais il n'y a pas d'inconvénients bien graves à élaguer dans une autre saison, si l'on n'a pu le faire à l'automne. Il est prudent pour les ouvriers de commencer leur travail par les branches du haut, pour éviter le plus possible toute chance d'accidents.

Tout ouvrier, leste, adroit, intelligent, et surtout disposé à suivre les prescriptions du propriétaire, peut faire un bon élagueur. Comme rémunération de ce travail, il vaut mieux payer les ouvriers à la journée, et leur abandonner le bois mort. Le travail à la tâche les encourage à procéder rapidement et avec peu d'attention : l'abandon de tout le bois abattu les encouragerait à mutiler et peut-être à perdre beaucoup d'arbres.

Jusqu'à présent nous avons montré comment on pouvait arriver à produire des arbres droits et sans défauts; mais, pour certains usages de construction, il est intéressant d'avoir de grosses pièces courbes. On

pourra les obtenir artificiellement, en appliquant la même méthode; seulement au lieu de conserver une flèche bien d'aplomb sur l'arbre on en choisira une ayant l'inclinaison voulue, et par l'élagage on maintiendra cette inclinaison. Le but sera bien plus facilement atteint si le sujet fait partie d'un bouquet d'arbres dans lequel les arbres, centraux par l'ombre qu'ils projettent sur ceux de la bordure, les obligent à s'incliner pour aller chercher l'air et la lumière.

Cette méthode donnerait encore d'excellents résultats si on l'appliquait aux plantations qui bordent les routes impériales ou départementales, en apprennant aux cantonniers à l'appliquer. En même temps qu'elle aboutirait pour le département à la création d'un capital considérable, elle permettrait de mieux rétribuer les cantonniers en leur procurant plus d'ouvrage.

Avant de terminer, nous devons faire remarquer que toutes les essences de bois ne présentent pas les mêmes exigences au point de vue de la méthode que nous venons d'exposer. Les arbres résineux n'ont presque pas besoin de traitement, leurs plaies se ferment seules sans carie, grâce à la grande quantité de résine qui les recouvre constamment. Quelques-uns des arbres, connus sous la dénomination générique de bois blancs, souffrent aussi moins de l'absence de tout traitement que les arbres d'essence dure tels que le chêne, parce qu'ils sont doués d'une puissance végétative plus considérable. Leurs plaies se recouvrent quelquefois seules, non sans un commencement de carie, mais les ravages sont loin d'atteindre les proportions qu'ils atteignent sur le chêne qui est la plus utile de toutes les espèces. Ainsi le platane, le peuplier, le hêtre même, peuvent dans certains cas produire des recouvrements sans désordres très-graves dans la vie de l'arbre, même en l'absence de tout soin, mais cela est bien aléatoire; tandis que, avec la méthode de M. de Courval, il y aura toujours et d'une façon certaine recouvrement sans carie. Toutefois, quand les plaies seront de dimensions considérables, un second pansement au coaltar pourra devenir utile avant le recouvrement complet.

Quant aux outils nécessaires pour appliquer la méthode, ils sont d'une bien grande simplicité, et peuvent se réduire à une serpe, un pot à coaltar et une brosse.

Fig. 18.

La serpe à tranchant rectiligne au lieu d'être courbe (fig. 19), est renflée au milieu de la lame, suivant le prolongement de l'axe du manche, afin de donner plus de sûreté dans le coup. Cette serpe se porte à la ceinture à l'aide d'un crochet (fig. 18) passé dans une lanière de cuir formant ceinturon. Pour abattre les rejets il est commode d'avoir un émondoir en forme de croissant emmanché sur une perche de 4 à 5 mètres de long, mais ce n'est pas

indispensable. Il est prudent aussi d'avoir une courroie pour attacher à l'arbre le sommet de l'échelle qui sert aux ouvriers ; mais dans aucun cas on ne doit leur permettre de se servir de griffes pour monter aux arbres, car il en résulte souvent des blessures pernicieuses.

Fig. 19.

Le coaltar doit être acheté directement à l'usine à gaz pour être sûr de sa pureté, et il doit être plutôt épais que coulant ; on l'applique à froid sauf dans les gelées d'hiver où l'on peut le faire tiédir un peu. Pour l'appliquer on se sert d'une brosse de moyenne grosseur. Sauf sur l'orme, le coaltar donne immédiatement, et dès la première couche, une surface dure et persistante, qui assure le recouvrement de la plaie; mais sur l'orme il se produit souvent des boursoufflures qui font tomber le goudron par écailles : il faut alors râcler la plaie, et renouveler la couche du coaltar.



Fig. 20.


Fig. 21.

Pour les arbres fruitiers, le coaltar n'agit pas de la même façon sur tous. Les arbres à pépins supportent très-bien ce pansement, mais les arbres à noyaux demandent beaucoup de soin dans l'emploi de ce caustique, parce que l'acide qu'il contient agit trop énergiquement sur leur écorce.

NOTE DESCRIPTIVE

DES EXPÉRIENCES FAITES

PAR MM. EUGÈNE FLACHAT ET NOISETTE,

SUR L'APPLICATION DE L'ASPHALTE COULÉ SUR LES PLANCHERS

DES MAGASINS ET GRENIERS

pour empêcher la propagation de l'incendie.

La construction des écuries, magasins et greniers de la Compagnie des Omnibus a été faite d'après les dispositions suivantes :

Plusieurs des écuries sont isolées des étages supérieurs par un plafond composé d'asphalte coulé sur une aire en mortier de chaux étendue sur des tuiles plates scellées en plâtre ; ces tuiles reposent sur des solives en sapin ; ces solives sont portées par de fortes poutres en bois.

Dans d'autres écuries plus nouvelles, les solives et poutres en bois sont remplacées par des solives et poutres en fer, et l'aire en plâtre par de petites voûtes en briques creuses et ciment couvertes d'une aire en mortier sur laquelle l'asphalte est coulé.

Les planchers, ainsi bitumés, servent de magasins à avoine.

Enfin, d'autres écuries plus anciennes sont séparées de l'étage supérieur par un simple plancher qui, dans ce cas, sert de grenier à fourrages.

L'asphalte n'avait, d'abord, d'autre but que de préserver l'avoine déposée dans les magasins situés au-dessus des écuries, de la buée qui résulte de la transpiration des chevaux ; il n'était entré dans la pensée de personne qu'il pût préserver de l'incendie les écuries qu'il couvrait.

Les planchers des étages supérieurs à celui qui couvre les écuries sont en bois, et le dernier, le plus élevé, est celui du grenier qui reçoit les fourrages.

Les bâtiments contiennent ainsi tantôt un, tantôt deux magasins à avoine superposés, et toujours un grenier à fourrages.

Dans cinq incendies successifs, survenus dans les greniers à fourrages, les faits suivants furent constatés :

Les planchers en bois des greniers on été complétement détruits. Les

planchers en bois des étages inférieurs l'ont été également. L'incendie s'est toujours arrêté sur les sols enduits en asphalte.

L'asphalte directement atteint par le feu s'est amolli ou liquéfié sur une partie de son épaisseur; mais il est resté imperméable, et lorsque, les secours venus, il a été couvert d'eau, il est resté étanche et il a repris sa dureté.

Les cinq incendies ont eu lieu : le premier au dépôt des Gobelins ; le deuxième et le troisième au dépôt de la rue de la Procession ; le quatrième et le cinquième au dépôt de la rue d'Ulm.

Dans trois d'entre eux, les greniers à fourrages étaient directement superposés aux écuries. Dans les deux derniers, les greniers à fourrages étaient séparés des écuries par un magasin à avoine qui a brûlé. Dans ces cinq incendies, le feu a été arrêté sur l'asphalte. Les écuries ont donc été complétement préservées partout où l'asphalte les recouvrait. Elles ont été atteintes partiellement par l'incendie des cheminées d'aérage en bois qui les faisaient communiquer avec les étages supérieurs. Si ces cheminées eussent été en plâtre tout risque eût disparu.

Cependant les huiles essentielles contenues dans l'asphalte mis en contact immédiat avec le feu avaient dû brûler ; comment cette combustion avait-elle pu se produire sans que l'asphalte fut complétement privé de sa faculté d'adhérence entre les molécules calcaires et asphaltiques qui le composent, et pût redevenir imperméable en se refroidissant?

Ce fait singulier et tout à fait imprévu devint l'objet d'une étude attentive. De l'asphalte coulé sur une épaisseur de 15 millimètres, dans des lingotières en fer, fut soumis à la température du rouge sombre. Un ramollissement, puis l'ébullition, puis la combustion des vapeurs produites s'en suivit. Cette combustion dura cinq à six minutes, cessa et ne put être reproduite même au contact du charbon incandescent. L'asphalte refroidi n'avait pas perdu sensiblement son épaisseur ; sa faculté de durcissement était sensiblement la même.

La même épaisseur d'asphalte fut étendue sur une planche, et le feu superposé et entretenu par du charbon de bois; elle ne put être traversée; le charbon de bois s'éteignait aussitôt que son immersion dans le bitume le privait d'air.

Ces premiers résultats conduisirent à des expériences plus en grand que nous allons relater. Il y avait intérêt à savoir si une simple application d'asphalte sur les planchers servant de greniers à fourrages pouvait, en cas d'incendie, préserver les constructions inférieures, ou du moins suffirait à donner le temps d'attendre l'arrivée des secours. On n'espérait pas encore une préservation absolue. Dans les incendies qui avaient eu lieu, peut-être la rapidité des secours avait-elle contribué à protéger l'asphalte ; mais au moins considérait-on comme un grand avantage de pouvoir attendre les secours pendant une heure ou deux.

Voici le procès-verbal des expériences qui furent faites alors :

Compte rendu des expériences *sur la préservation des planchers contre l'incendie au moyen d'un enduit, faites le* 19 *février* 1868, *aux ateliers de la Compagnie des Omnibus.*

Cinq tables couvertes en sapin blanchi, de 0.027 millimètres d'épaisseur, ayant 2 mètres de côté ou 4 mètres carrés, portées sur quatre pieds, à 1 mètre de hauteur, ont reçu chacune, sur leur superficie, les enduits suivants :

1° Asphalte provenant des relevages de la Compagnie générale des Asphaltes, ayant 15 millimètres d'épaisseur;

2° Plâtre ayant 30 millimètres d'épaisseur ;

3° Béton Coignet ayant 40 millimètres d'épaisseur ;

4° Ciment de Portland ayant 25 millimètres d'épaisseur;

5° Asphalte de même nature et épaisseur que le n° 1 ci-dessus, coulé, sur une couche de terre à four de 25 millimètres d'épaisseur.

1re expérience.

La table n° 1 (asphalte coulé directement sur le bois) a reçu le contenu de deux grilles en charbon de bois incandescent. Ce charbon a été couvert de fragments de bois sur une hauteur, au centre, de 0m.50. La surface ainsi exposée au contact direct du feu était un cercle d'environ 1m.40 de diamètre. Le feu a été alimenté de 1 heure 45 à 3 heures. Aucun indice de communication du feu au plancher ne s'est montré dans le cours de l'expérience. La main pouvait être appliquée sous le plancher.

Après une heure et demie l'expérience étant considérée comme suffisante, on a dressé la table de champ. L'asphalte liquéfiée vers le centre a coulé et a découvert le plancher qui s'est montré coloré par l'asphalte, et en certaines places carbonisé sur 1 à 3 millimètres d'épaisseur.

Il est résulté de cette expérience qu'une couche d'asphalte de 0.015 millimètres réussit à préserver le plancher de l'ignition pendant 1 heure et demie ; qu'il serait possible qu'elle le préservât indéfiniment après la fusion et après l'épuisement des vapeurs combustibles qu'il contient, mais que pour prononcer sur ce dernier résultat, l'expérience aurait dû être continuée, puisque des commencements d'altération superficielle du bois ont eu lieu, tandis que rien sous le plancher ne la faisait supposer.

2e et 3e expériences.

Le plâtre et le béton Coignet ont parfaitement préservé le plancher contre des feux de la même intensité que le précédent.

L'eau contenue dans le béton Coignet a produit, en se transformant en vapeur, quelques explosions superficielles. La réduction d'épaisseur du béton résultant de ces explosions a été sans inconvénients.

4e EXPÉRIENCE.

L'enduit en ciment a été, comme le béton Coignet, altéré par places par quelques explosions dues à l'eau qu'il contient, mais il a été fendu plus fortement, son épaisseur étant beaucoup plus faible, 25 millimètres au lieu de 40 millimètres ; le plancher a été carbonisé dans les parties où le feu a été le plus intense, et il n'est pas douteux que cet effet ne soit dû à la haute température à laquelle le ciment a été exposé. Cela s'explique d'ailleurs par la plus grande conductibilité du ciment pour la chaleur. Soumis à une température très-élevée, l'enduit peut, comme la pierre, devenir incandescent; le même effet se produirait infailliblement, mais à un degré moindre, avec le béton Coignet, qui est un composé de chaux, de silice et de ciment.

La durée de ces expériences a été d'une heure un quart à une heure et demie comme la précédente.

5e EXPÉRIENCE.

L'asphalte coulée sur la terre à four a donné un excellent résultat. Le feu a été renouvelé deux fois et l'expérience prolongée pendant une heure et demie. Les cendres ayant été balayées, l'asphalte a été refroidi par de l'eau ; il a repris sa dureté et il a été reconnu que son épaisseur n'était pas sensiblement altérée; que la terre à four était restée intacte, et que le plancher avait été aussi complétement préservé que sous l'enduit en plâtre et en béton Coignet.

Dans ces diverses expériences, le feu concentré sur le plancher a été beaucoup plus violent et plus en contact immédiat avec lui qu'il ne peut l'être dans un incendie.

La conclusion générale de ces expériences est que tous les enduits laissent le temps nécessaire pour attendre les secours. Que, dans le cas d'incendie de grenier à fourrages, les enduits en plâtre de 0.030, en béton Coignet de 0.040, en asphalte de 0.015, sur terre à four de 0.025 protégeraient indéfiniment le plancher en en empêchant l'ignition ; que l'enduit en asphalte seul pourrait couler entre les joints ouverts du plancher, et que sur ce point l'expérience serait à reprendre; mais comme la terre à four n'augmenterait le prix que d'une manière insignifiante, cette expérience du bitume seul non isolé du plancher devient sans intérêt.

Une dernière expérience a eu pour but d'établir le degré de combustibilité de l'asphalte. Des fragments d'asphalte ont été placés sur un brasier ardent de charbon de bois d'environ $0^m.30$ d'épaisseur sur $0^m.40$ de diamètre, dans une grille à barreaux verticaux recevant l'air de tous côtés.

Une certaine quantité de matières gazeuzes combustibles, distillées, ont brûlé ; mais une très-faible partie de l'asphalte a coulé au pourtour de la grille et s'éteignait immédiatement en tombant sur une planche placée au bas du foyer ; le reste de l'asphalte a enveloppé les fragments incandescents de charbon, a couvert le foyer, l'a enfermé à la partie supérieure, et en moins d'une demi-heure le feu est devenu impuissant à percer la plaque d'asphalte ; il s'est progressivement éteint.

Il ne reste plus, pour déterminer le choix de l'enduit à préférer, qu'à examiner les diverses conditions d'emploi, telles que le prix, le poids, la durée et les appropriations au service comme sol de greniers à fourrages.

L'emploi du ciment de Portland dont le prix serait de 3 francs par mètre carré, et du béton Coignet qui coûterait 2 francs 80 cent., paraît devoir être écarté à cause de l'incandescence dont ils sont susceptibles sous l'influence d'un feu ardent et prolongé, de leur fendillement, et surtout de la nature dangereuse, pour la dent du cheval, de la poussière à laquelle ils donnent lieu.

Le plâtre, qui ne coûterait que 95 centimes par mètre carré, a contre lui son fendillement à la suite d'une dessication prolongée, le peu de dûreté de sa surface, et aussi la nature de sa poussière qui salirait le fourrage et qui ne permettrait pas, le cas échéant, d'emmagasiner de l'avoine sur son aire.

Ces trois enduits ont aussi l'inconvénient de ne pas se prêter à la déformation naturelle et aux *dénivellations* des bois du plancher résultant soit de la sécheresse, soit de la flexion des poutres, soit du tassement de la construction.

Le bitume sur terre à four, qui coûterait 2 francs 95 cent. par mètre carré, n'a pas les inconvénients signalés ci-dessus ; il se prête à toutes les déformations des planchers ; son aire est favorable au magasinage des grains et fourrages ; de plus elle est étanche, elle peut être lavée, et dans le cas d'incendie elle serait, beaucoup plus que les autres enduits, susceptible d'empêcher l'eau de filtrer à travers le plancher et d'altérer les grains emmagasinés dans les étages inférieurs.

A la suite de ces expériences, la Compagnie des Omnibus examina l'application, d'une manière générale, sur les planchers des greniers à fourrages, d'une couche d'asphalte de 0m.015 sur une couche de terre à four de 0m.025 ; mais comme l'importance de cette détermination nécessitait l'accord des conseils les plus compétents, elle résolut que les expériences seraient renouvelées en présence des membres du Conseil d'Administration, des chefs du Corps des Sapeurs Pompiers de la ville et d'autres personnes intéressées, soit comme propriétaires ou comme exploitants de magasins, à en suivre les phases et à en apprécier les résultats.

Ces expériences eurent lieu dans la cour du dépôt de Montmartre, sur deux tables en sapin de 4 mètres carrés disposées comme celles décrites précédemment, et revêtues d'une couche d'asphalte de 15 millimètres sur terre à four de 25 millimètres d'épaisseur.

Elles furent conduites comme dans l'expérience précédente, si ce n'est que l'intensité du feu fut augmentée à la fois par la quantité de bois en combustion et par un vent sec et vif; le feu fut entretenu pendant une heure et quart.

Le ramollissement de l'asphalte, la vaporisation des huiles essentielles qu'il contient aux points en contact avec le feu et l'inflammation momentanée des petits jets de vapeur blanche provenant de ces essences, en un mot les phénomènes qui s'étaient présentés dans la première expérience, se reproduisirent. Les cendres et débris carbonisés, enchassés dans l'asphalte, ayant été retirés, celui-ci s'est montré à peine altéré sur 2 ou 4 millimètres d'épaisseur. La croute calcaire, laissée par la combustion de cette mince épaisseur, avait suffi pour préserver le reste de la couche d'asphalte qui était resté intact. Il est à remarquer que cette mince couche de 2 à 4 millimètres, bien qu'altérée par la disparition d'une partie des huiles essentielles, en contenait cependant encore assez pour reprendre sa dureté par le refroidissement. L'asphalte fut ensuite enlevé et la terre à four mise à découvert; elle n'avait pas subi la moindre altération, et quand elle fut retirée, non-seulement le plancher ne portait aucun signe d'échauffement, mais il avait été tellement préservé de la chaleur que la main pouvait y être maintenue, la température ne dépassant pas 35 à 40 degrés.

Cette première expérience terminée, on a allumé, sous l'une des deux tables, un foyer très-intense; le feu s'est bientôt communiqué aux solives et à la surface inférieure des planches qui sont entrées en combustion. Mais la flamme, ne pouvant se faire jour à travers les interstices des planches hermétiquement fermées par la couche d'asphalte, est restée inactive. A la fin, les pieds de la table se sont allumés à leur tour, et le plancher en s'affaissant a étouffé en même temps son propre feu et le foyer placé au-dessous de lui.

Ces deux remarquables expériences, qui ne sont que la reproduction d'un phénomène constaté à la suite d'un sinistre dans un grand établissement industriel, ont mis hors de doute ce fait inattendu, que l'asphalte est l'isolant le plus efficace d'un foyer d'incendie, que ce foyer se trouve au-dessus ou au-dessous d'un plancher asphalté.

Cette dernière expérience, dirigée par les Chefs du Corps des Sapeurs Pompiers, présente un haut degré d'intérêt. Une note de M. Léon Malo, adressée en septembre 1867 au Président de la Société des Ingénieurs civils et que nous reproduisons ici, en avait fait déjà ressortir l'importance.

NOTE SUR LE RÔLE DES PLANCHERS ASPHALTÉS, EN CAS D'INCENDIE.

L'usine de fabrication du mastic d'asphalte, de Seyssel, est composée d'un rez-de-chaussée où se trouvent 4 paires de chaudières de préparation, accolées deux à deux, et d'un premier étage où sont installés

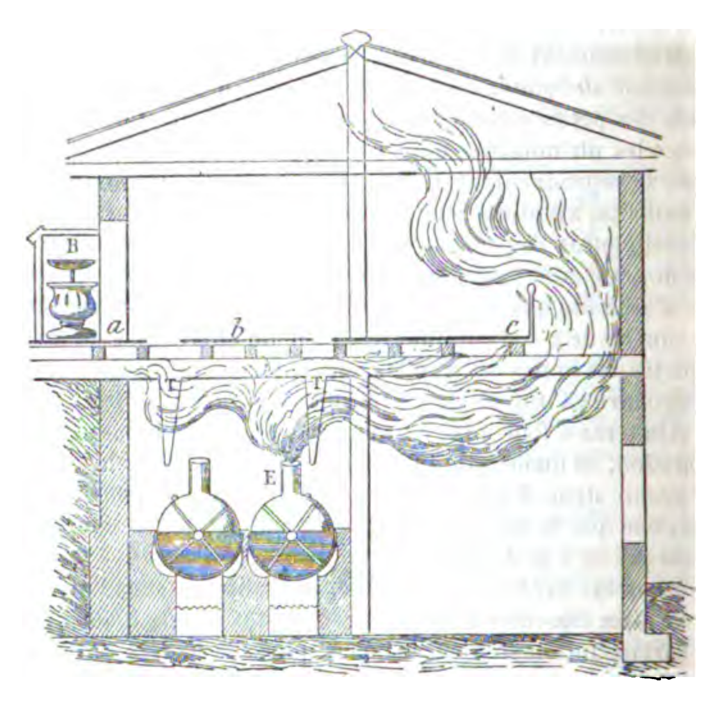


Fig. 1.

les broyeurs chargés de pulvériser le minerai qui doit être traité dans ces chaudières. Le 14 mai 1862, une de ces chaudières se fendit, la matière bitumineuse (il n'y avait à ce moment dans l'appareil que du bitume pur) coula par la fente jusque dans le foyer, et tout le chargement prit feu. La flamme, en s'échappant par le tuyau E, destiné à l'évacuation des vapeurs, vint lécher la charpente du plancher et l'embrasa.

Le plancher en bois de sapin était composé de poutres, de solives et de planches de 3 centimètres. La chaleur de l'usine, en desséchant les planches, y avait produit un retrait qui pouvait avoir laissé entre elles environ 1 centimètre de vide.

Comme ce plancher devait recevoir par places des tas de poudre d'asphalte, j'avais pris la précaution d'y faire couler une couche de mastic bitumineux de $0^{m}.01$ d'épaisseur, séparé du bois par une feuille de fort

papier gris, afin d'empêcher l'adhérence. On comprend, en effet, que si le mastic eut adhéré aux planches, le retrait eût pu déterminer des fissures dans la couche, tandis que, isolées d'elle, les planches pouvaient jouer sans inconvénient; le papier avait encore pour but d'empêcher, au moment de la coulée, le mastic de passer par les interstices du plancher.

Le feu prit donc, le 14 mai 1862, aux poutres et aux solives qui, imprégnées pendant plusieurs années par les vapeurs du bitume, flambèrent avec une effrayante rapidité, sans que l'eau des pompes y pût rien, et il y avait lieu de croire que le bâtiment tout entier était perdu.

Mais la couche d'asphalte *abc* interceptait si parfaitement la communication entre le dessous et le dessus du plancher, que la flamme se trouvait emprisonnée comme derrière une feuille métallique. Malheureusement le plancher ne couvrait pas la totalité de la surface de l'usine, ainsi qu'on peut le voir sur le croquis ci-contre, et la flamme gagnant de proche en proche, toujours en se maintenant sous les solives, déborda le plancher, et s'élançant vers la toiture par la solution de continuité, atteignit les ferrures des pannes et les chevrons qui prirent feu à leur tour. On dirigea alors le jet des pompes de ce côté, mais sans grand espoir de succès, car le foyer de flamme du rez-de-chaussée venait incessamment alimenter celui de la toiture.

Au moment où l'on désespérait le plus de pouvoir circonscrire le feu, les poutres du plancher, carbonisées, cédèrent toutes à la fois et le plancher lui-même s'effondra en entraînant avec lui la couche d'asphalte qui couvrit les débris enflammés comme d'un couvercle et étouffa le feu instantanément. Le feu du rez-de-chaussée éteint, on eut facilement raison de celui de la toiture.

Cette expérience, involontaire, montre que l'asphalte, qui est, comme on sait, composé de calcaire dans la proportion de 85 pour 100 pour 15 pour 100 de bitume, non-seulement est inhabile à alimenter la combustion, non-seulement est apte à circonscrire d'une manière très-efficace un foyer d'incendie, mais encore peut, dans certains cas, étouffer par sa chute un feu en activité. Le ramollissement de la couche par la chaleur vient même en aide à cette singulière propriété de l'asphalte, en lui donnant une malléabilité qui lui fait jouer le rôle d'une lourde étoffe aussi imperméable au feu qu'à l'eau.

A la suite des expériences que nous avons décrites, la Compagnie des Omnibus a fait revêtir les planchers de ses greniers à fourrages d'une couche d'asphalte de 15 millimètres d'épaisseur, appliquée sur une couche de terre à four de 25 millimètres.

Dans les nouveaux dépôts à construire, les planchers des greniers à fourrages et ceux des magasins à avoine seront couverts d'une couche d'asphalte sur terre à four, s'ils sont en bois. Si le fer est exclusivement

employé, les intervalles seront remplis en plâtre coulé sur barots, à l'italienne, la terre à four étendue sur le plâtre et recouverte d'asphalte.

Ce genre de plancher n'est pas d'un prix plus élevé que le plancher en bois, et l'emploi pourrait en être, avec le plus grand avantage, généralisé dans les filatures, dans les établissements industriels, et dans les magasins de matières combustibles. Dans les maisons particulières, une simple couche d'asphalte, entre les lambourdes au-dessous du plancher, limiterait l'incendie aux objets combustibles contenus dans le local situé entre un plancher et un plafond ainsi disposé.

Dans les planchers en fer, celui-ci, entouré de matières mauvaises conductrices de la chaleur, ne pourrait être porté à la température à laquelle sa résistance diminue notablement, que par un brasier très-ardent et durant plusieurs heures.

Le poids de la couche de terre à four et de bitume est de 70 à 80 kilogrammes par mètre carré de plancher, ce qui n'exige aucun accroissement des dimensions des poutres et solives pour les planchers habituellement construits pour une charge de 400 à 1200 kil. par mètre superficiel.

Les incendies des filatures, qui se propagent avec une grande rapidité d'étages en étages, seront faciles à circonscrire dans les points où ils auront pris naissance; mais à l'emploi des sols en asphalte, il convient d'ajouter quelques précautions pour isoler par des cloisons en maçonnerie les cages d'escaliers qui pourraient servir de moyens de communication du feu.

La Compagnie des Omnibus a, dans ce but, fermé au moyen de portes mobiles en tôle les cheminées d'aération des écuries qui traversent les étages superposés; les portes des cages d'escalier sont également en fer.

Il est impossible d'empêcher absolument l'incendie; il serait même à la fois difficile et dispendieux de s'assurer par des dispositions spéciales les moyens de l'éteindre immédiatement partout où il se produit; cela n'est nécessaire que dans les navires où l'incendie est tellement redoutable qu'il doit être considéré comme toujours prochain; mais partout il faut diviser les risques en empêchant la propagation du feu, et cela peut être obtenu au moyen des dispositions que nous avons décrites. Elles ne changent rien au mode habituel de distribution des locaux et habitations, ni à leur exploitation, et elles n'y introduisent aucune servitude nouvelle.

Enfin, dans les habitations particulières, dont les planchers sont supportés par des solives en fer, elles auraient l'avantage d'assourdir le bruit entre les étages qui est transmis par la faculté vibratoire du métal.

NOTE

SUR LE

MATÉRIEL FIXE DES CHEMINS DE FER

A PROPOS DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE

Par M. F. RANCÈS.

I. — PRÉLIMINAIRES.

L'Exposition universelle de 1867, pas plus que sa devancière, n'offre rien de saillant pour l'ingénieur qui s'occupe spécialement de chemins de fer. — On y voit, il est vrai, de très-beaux échantillons de fonte, de fers, d'aciers de toutes sortes, quelques cassures de rails d'un magnifique aspect ; mais ces échantillons montrent beaucoup plus ce que les usines peuvent faire que ce qu'elles font réellement, car on sait toute la distance qui sépare ordinairement les produits courants des spécimens fabriqués surtout en vue de mériter les suffrages d'un jury. — On y rencontre aussi des signaux variés, des plaques tournantes, des croisements de voie, des appareils de levage et de pesage, etc., d'une construction soignée, mais que, à quelques exceptions près, on peut voir sur les chemins de fer français et étrangers.

Cette absence de nouveautés n'a rien qui doive surprendre puisque, en France notamment, le jury d'admission de la classe 68 n'a reçu que des objets qui avaient été sérieusement appliqués. — Elle ne prouve pas, d'ailleurs, que le matériel fixe des chemins de fer ne soit pas en progrès, aussi bien sous le rapport de la fabrication que sous celui des dispositions adoptées pour les appareils proprement dits. Les améliorations réalisées depuis quelques années sont, au contraire, importantes. Aussi, une revue rapide du matériel des voies, montrant les progrès réalisés, l'état actuel et les améliorations qu'il est permis d'espérer, m'a paru présenter quelque opportunité à propos de l'Exposition et de l'intérêt toujours croissant qui s'attache à ces questions. — Mais avant

d'aborder ce travail, il n'est pas inutile de jeter un coup d'œil sur la situation des Réseaux français et sur la dépense annuelle à laquelle donnera lieu leur entretien.

La situation des Réseaux, au 31 décembre 1866, est résumée dans le tableau suivant que j'ai extrait de la statistique publiée par le Ministère des Travaux publics :

	LONGUEURS		
	ANCIEN RÉSEAU.	NOUVEAU RÉSEAU.	TOTALES.
Longueurs concédées, non compris les chemins industriels ou d'intérêt local...	9.776km	11.274km	21.050km
Longueurs livrées à l'exploitation.......	7.852	6.654	14.506
Longueurs restant à livrer............	1.924	4.620	6.544

Quelle sera la valeur du matériel des voies lorsque les Réseaux seront terminés et quelle sera l'importance annuelle des renouvellements? S'il n'est pas permis de répondre à ces questions d'une manière précise, puisqu'on ne peut prévoir comment seront réparties les longueurs à simple et à double voie, on peut, du moins, le faire par approximation. Les longueurs exploitées au 31 décembre 1866 se répartissent, en effet, comme suit :

	LONGUEURS		
	A DOUBLE VOIE.	A SIMPLE VOIE.	TOTALES.
Ancien réseau.................	5.704km	2.148km	7.852km
Nouveau réseau................	1.766	4.888	6.654
Totaux...............	7.470	7.036	14.506

Ainsi, tandis que sur l'ancien Réseau, qui est fort avancé, la double voie domine, l'inverse se produit sur le nouveau Réseau qui n'est pas à moitié fait. Si l'on considère que les sections successivement livrées à l'exploitation sont généralement de moins en moins productives, que depuis quelque temps déjà les lignes ne sont guère posées qu'à une voie, qu'enfin l'expérience faite par les Compagnies, et notamment par celle du Midi, a montré qu'il est possible, avec un trafic important, d'exploiter en voie unique des lignes de grande étendue, on peut en conclure, sans s'éloigner beaucoup de la réalité, que les lignes restant à livrer sur l'ancien comme sur le nouveau Réseau seront à une seule voie. Remarquant ensuite que les longueurs données par l'Administration ne comprennent

pas les voies de garage, j'établirai comme suit la longueur des voies, corespondant aux 21.050 kilomètres concédés :

Longueur développée des voies principales livrées à la circulation au 31 décembre 1866 (7470×2+7036)	21.976 km.
Longueur développée des voies restant à poser au 31 décembre 1866	6.544
Total.	28.520
Les voies de garage peuvent être estimées approximativement à 15 p. 100 de la longueur totale concédée (21 050 km.), ce qui donne.	3.157
Total.	31.677
Soit, en nombre rond.	32.000 km.

Pour avoir la valeur exacte de ces voies, qui auront été posées à des époques très-différentes, il faudrait totaliser les valeurs de matériaux portées aux budgets des différentes Compagnies : c'est là un travail impossible et, d'ailleurs, sans grand intérêt.— Il suffira de faire une estimation d'après la valeur actuelle des matériaux, qui représente environ 25 000 fr. par kilomètre [1]; ce qui donne pour les 32.000 kilomètres de voies 800, millions, ci. . . . . 800.000.000 fr.

Les appareils de voies qui ne sont pas compris dans cette somme peuvent être évalués à 5000 fr. par kilomètre de ligne : pour les 21.050 kilomètres construits ou à construire la dépense sera donc de.	105.250.000 fr.
Total général	905.250.000 fr.
Soit, en nombre rond.	900.000.000 fr.

En face de ce capital énorme on comprend qu'il n'est pas de progrès, si petit qu'il soit, ayant pour but de diminuer le prix de revient des voies, qui n'ait son importance : ce prix de revient grève l'exploitation pendant toute la concession d'une somme annuelle correspondant à l'intérêt et à l'amortissement du capital engagé. Mais les progrès tendant à

1. *Valeur du kilomètre de voie à donble champignon.* (Type du Midi.)

364	rails de 5.50 pesant 37k le mètre courant, soit.	74t.000	à 200f	14.800f.00
728	éclisses pesant 9k la paire, soit.	3.276	à 205	671.58
1456	boulons pesant 0k.455 l'un, soit.	0.662	à 360	238.32
2184	coussinets pesant 9k l'un, soit.	19.656	à 150	2.948 »
4368	chevillettes pesant 0k.375 l'une, soit.	1.638	à 280	458.64
1092	traverses.		à 5	5.460.00
2184	coins.		à 0.09	196.56
	Total.			24.773f.10
	Soit.			25.000.00

améliorer la qualité des matériaux, et, par suite, à prolonger leur durée, sans augmenter sensiblement leur prix, sont d'un intérêt bien plus manifeste encore, car ils influent directement sur le renouvellement des voies, c'est-à-dire sur un des articles les plus importants du budget d'entretien.

Les comptes rendus annuels des Compagnies, ne distinguant pas les dépenses de matériaux des dépenses de main-d'œuvre, ne permettent pas d'apprécier, avec quelque exactitude, quelle sera l'importance annuelle des renouvellements, lorsque les Réseaux seront terminés. D'ailleurs chaque année, par suite de la mise en circulation de nouvelles lignes, la longueur exploitée est changée aussi bien que l'âge moyen des voies. On ne pourrait donc, alors même que les dépenses de matériaux seraient portées à part, se faire une idée exacte des renouvellements, par la dépense kilométrique annuelle. Plus tard, quand l'ancien Réseau terminé aura été exploité pendant un certain nombre d'années, les dépenses de matériaux rapportées au kilomètre auront quelque apparence de vérité. Cette époque est encore bien éloignée ; mais il n'est heureusement pas nécessaire de l'attendre pour faire le budget approximatif des dépenses de renouvellement. Remarquons, en effet, que la valeur du kilomètre de voie neuve est de. . . . . 25.000 fr.
que celle d'un kilomètre de voie hors de service est de. . . 9.500 fr.

La différence du neuf au vieux est donc de. . . . . 15.500 fr.

C'est-à-dire qu'étant donnée une voie qui devra être renouvelée au bout de n années, il faudra, à la fin de cette période, avoir reconstitué un capital de 15.500 fr. équivalent à la dépréciation de la voie. Admettant que cette reconstitution doive être faite au moyen d'une annuité a, on peut dresser le tableau suivant, en donnant à n des valeurs successives depuis 10 jusqu'à 25 et capitalisant à raison de 5 p. 100[2] :

1.	Rails.	74t. » à 100f	7.400f.00
	Éclisses, boulons, chevillettes.	5.576 à 100	557.60
	Coussinets	19.656 à 80	1.572.48
	Traverses et coins.	75 stères à 3	225.00
		Total.	9.755f.08
	Soit, pour tenir compte de la diminution de poids, résultant de l'usure ou des matériaux perdus dans le ballast. . .		9.500f.00

2. La formule qui donne la valeur de a est $p = a(1+r)^{n-1} + a(1+r)^{n-2} + a(1+r)^{n-3} \ldots + a$.

D'où l'on déduit : $p = a\dfrac{(1+r)^{n-1}}{r}$ et $a = \dfrac{pr}{(1+r)^{n}-1}$.

	VALEURS DE a			VALEURS DE a	
	par kilomètre	pour l'ensemble du réseau.		par kilomètre	pour l'ensemble du réseau.
	fr.	fr.		fr.	fr.
n = 10....	1232.31	39.433.920	n = 18....	550.97	17.631.040
11....	1091.08	34.914.560	19....	507.53	16.240.960
12....	973.74	31.159.680	20....	468.76	15.000.320
13....	875.01	28.000.320	21....	433.94	13.886.080
14....	790.89	25.308.480	22....	402.55	12.881.600
15....	718.32	22.986.240	23....	374.12	11.971.840
16....	655.16	20.965.120	24....	348.30	11.145.600
17....	599.84	19.194.880	25....	324.75	10.392.000

La méthode de calcul que j'ai suivie n'est certainement pas exempte de reproches puisqu'elle suppose que le renouvellement doit avoir lieu en bloc au bout d'un certain nombre d'années, tandis qu'en réalité il se fait progressivement ; mais, si elle n'est pas d'une exactitude parfaite, elle a, du moins, l'avantage de bien poser la question et d'être moins inexacte que d'autres méthodes qui ont été employées dans des cas analogues. Quoi qu'il en soit, l'examen du tableau montre à quel degré il est important de se préoccuper de prolonger la durée des voies, les prix d'établissement restant sensiblement les mêmes, puisque, pour une durée double, l'annuité de renouvellement est réduite presque au tiers.

II. — VOIES A SUPPORTS EN BOIS.

La voie Brunel, posée sur longrines, est aujourd'hui abandonnée aussi bien à l'étranger qu'en France, tandis que la voie à support discontinu en rails Vignoles ou à double champignon est employée à peu près partout.

L'Allemagne, la Russie, l'Espagne, l'Italie, à quelques exceptions près, ont donné la préférence au rail Vignoles. En Angleterre, le rail à double champignon continue à être à peu près seul appliqué ; en France et en Belgique, les deux types de rails sont employés concurremment. Les Compagnies de Paris-Méditerranée, du Nord et de l'Est ont adopté le Vignoles comme type de rail définitif, tandis que l'Ouest et le Midi s'en tiennent au rail à double champignon. Les voies de l'Orléans sont à double champignon sur les lignes à grand trafic, et en rails Vignoles sur les lignes secondaires.

Je ne veux pas entreprendre ici la comparaison des voies Vignoles et à double champignon ; une pareille tâche serait, d'ailleurs, malaisée après

les remarquables travaux des ingénieurs qui se sont occupés de la question. J'ajouterai que la discussion me paraît à peu près épuisée au point de vue théorique et que, seule, une expérience prolongée exécutée dans des conditions diverses de trafic, de tracé et de profil, avec des traverses d'essences différentes, pourra ajouter de nouveaux arguments à ceux qui semblent actuellement acquis aux deux systèmes. Sans contester aucunement certains avantages de la voie Vignoles, que ses partisans ont fait ressortir avec tant d'autorité, on me permettra de rappeler que cette voie semble inférieure à la voie à double champignon, à deux points de vue: insuffisance de l'attache du rail sur les traverses, surtout quand ces dernières sont en bois tendre, et immersion moins grande des traverses dans le ballast. Le premier point est aujourd'hui incontesté ; mais, sur le second, les avis semblent encore partagés. Une expérience faite sur une grande échelle, par la Compagnie du Midi, a cependant montré qu'il y a grand intérêt, pour la conservation des traverses, à les recouvrir le plus possible de ballast. On sait que la voie Brunel posée par cette Compagnie sur son réseau des Landes (20 0 ^{km} environ) se composait de deux cours de longrines de $0^{m}.13$ d'épaisseur reposant sur des traverses placées en dessous. Les longrines avaient, par conséquent, leurs faces supérieures au niveau du sol, tandis que les traverses étaient recouvertes d'une couche de $0^{m}.13$ de ballast. Or, quand on a démoli la voie Brunel, au bout de sept ans de service, toutes les longrines étaient en mauvais état tandis que les traverses n'étaient pas détériorées; et comme les unes et les autres avaient été débitées et préparées en même temps, employées absolument dans les mêmes conditions, il est difficile d'expliquer la conservation des traverses autrement que par leur plus grande immersion dans le ballast. Il paraît donc certain que, toutes choses étant égales, les traverses se conservent d'autant mieux qu'elles sont plus recouvertes de ballast.

§ 1. — Voie sur coussinets.

Quelques améliorations de détail ont été apportées à la voie sur coussinets ou sont indiquée par l'expérience. L'emploi, de plus en plus général, des traverses en bois tendre a appelé l'attention sur la pénétration des coussinets dans les traverses et sur les moyens de remédier à cet inconvénient. Déjà à l'Exposition de 1862 on voyait des coussinets anglais à base très-large et sans évidement, de manière à en augmenter la surface d'appui. Cette modification, quoique obtenue au prix d'une notable augmentation de poids, est bonne à généraliser.

Le coinçage des rails a été fait longtemps un peu au hasard, sans se préoccuper des déclivités, du sens de la marche des trains. On sait cependant, que sur les lignes à double voie, il faut coincer chaque voie dans le sens de la marche des trains ; et que, sur les lignes à voie unique, cha-

que file de rails doit être coincée alternativement dans un sens et dans l'autre, si ce n'est sur les déclivités qui dépassent 5 millimètres où il convient de coincer dans le sens de la pente. On applique aujourd'hui ces principes qui avaient été méconnus sur beaucoup de lignes.

Sur bien des lignes aussi on voit encore des boulons d'éclisse posés avec les écrous en dehors de la voie. La disposition inverse était naturellement indiquée et c'est celle qui est maintenant suivie.

Enfin les chevillettes sont galvanisées ou coaltarées avant l'emploi ; les traverses sont également coaltarées à l'endroit du coussinet.

Tous ces détails ont leur importance, car ils contribuent à la conservation des divers éléments constitutifs de la voie.

Un type de rail ou plutôt de voie (pl. 4, fig. 1) pour les lignes à grand trafic est exposé en dessin par M. Berrens, ex-ingénieur en chef de la voie des chemins de fer Lombards-Vénitiens et de l'Italie centrale. Après avoir énuméré les inconvénients que la voie Vignoles présente, d'après lui, l'auteur ajoute dans une notice descriptive qu'il a publiée à l'occasion de l'Exposition :

« Les boudins du rail, qui pèse 44 kil. par mètre courant, ont sur les côtés un élément rectiligne qui les garantit plus longtemps de l'usure latérale des boudins des roues.

« La surface d'appui pour les bandages des roues est de 38 millimètres, dans le but d'éviter le creusement des roues, si rapide lorsque la surface des rails a une forme bombée. Un coin en fer, serré contre une cale en bois, rendra le serrage plus sûr que les coins ordinaires, et le renouvellement des cales ne coûtera que le tiers d'un coin ordinaire.

« Enfin, une cale en bois très-dur, placée à la partie inférieure entre le rail et le coussinet, permettra de rétablir les rails usés de quelques millimètres, à la même hauteur que s'ils étaient neufs, quand on les retournera. »

Ce type de rail ne doit pas être jugé en le comparant au rail Vignoles, mais uniquement en le considérant comme type modifié de la voie à double champignon. A ce point de vue, les objections qui peuvent lui être opposées *à priori* sont nombreuses. Le rail étant supporté par la joue du coussinet au lieu de s'appuyer contre elle, il sera très-difficile d'obtenir qu'il porte également bien dans la chambre du coussinet. Le desserrage du coin sera prompt parce que le rail n'étant pas bien emprisonné, sa tendance à se soulever verticalement ne sera pas suffisamment combattue. La cale en bois dur doit être posée sous le rail avec une inclinaison qu'il sera difficile d'obtenir ; il sera difficile aussi de la visiter pour s'assurer de son état de conservation. A chaque support il y a deux éléments de plus, une cale en fer et une cale en bois : c'est une complication. Enfin, le poids du rail est de 44 kilog., supérieur, par conséquent, de 7 kilog. au poids généralement adopté ; cela semble exagéré.

Le coussinet de joint, depuis longtemps condamné, ne se rencontre

plus guère que dans les voies de garage d'anciennes lignes. Le coussinet-éclisse ne s'est pas propagé en dehors des Compagnies de l'Est et de l'Ouest : il est d'une fabrication coûteuse et difficile, et il n'est guère possible, à cause des variations de profil qui se produisent dans un laminage courant, aussi bien pour les rails que pour les coussinets-éclisses, d'obtenir entre ces pièces des contacts parfaits. D'un autre côté, les boulons et crampons qui fixent les coussinets aux rails et sur les traverses constituent un système d'attaches multiples, qui doit prendre du jeu au bout de peu de temps. Enfin, il est certain que la dureté que l'on reprochait aux voies posées sur coussinets de joint en fonte existe en grande partie sur les voies avec coussinets-éclisses en fer : cette dureté a des inconvénients bien plus graves pour la conservation des abouts de rails, que pour le matériel roulant. L'abandon dans lequel est tombé le coussinet-éclisse semble donc justifié, et c'est avec raison que certaines Compagnies, comme l'Orléans et le Midi, qui ont conservé le rail à double champignon, ont donné la préférence à l'éclissage en porte-à-faux.

Le rail éclissé en porte-à-faux est aussi facile à remplacer qu'à poser. Le roulement est très-doux et le passage sur les joints se ressent à peine. Les boulons se desserrent, il est vrai, comme dans tous les éclissages, mais ce desserrage n'est que momentané, et, en ayant soin, pendant les six premiers mois d'exploitation, de visiter souvent les boulons on obtient bientôt un serrage à bloc ; si bien que, non-seulement les boulons ne se desserrent généralement plus sous l'action répétée des trépidations des trains, mais que, au bout de quelques années, lorsqu'arrive le remplacement des rails, il est fort difficile de faire jouer les écrous.

La voie éclissée en porte-à-faux a le grand avantage de ménager les rails à leurs extrémités. Depuis huit ans, la Compagnie du Midi n'a pas employé moins de 150.000 tonnes de rails à double champignon. Tous ces rails ont été soumis à une garantie de deux à trois ans, qui a été très-sérieusement appliquée, en ce sens que les épreuves ont porté sur une partie seulement de chaque fourniture, posée en des points parfaitement déterminés, et qu'il a été dès lors facile de contrôler. A l'expiration de chaque épreuve, le nombre de rails détériorés aux extrémités a été relevé avec soin, et on a ainsi constaté que sur 40 règlements de garantie s'appliquant à douze provenances de rails de qualités diverses, la proportion des rails détériorés aux extrémités, par rapport à l'ensemble des rails avariés, s'est maintenue entre 2 et 31 p. 100. ; tandis que les détériorations survenues sur les autres points de la longueur du rail ont varié entre 98 et 69 p. 100. Il est donc exact de dire que, pendant les premières années de service, tout au moins, l'éclissage en porte-à-faux ménage les abouts des rails.

On a objecté avec raison que l'éclissage en porte-à-faux n'empêchait pas le glissement des rails. Mais une légère modification apportée par la Compagnie du Midi a complétement fait disparaître cet inconvénient.

Les éclisses primitives étaient égales et de $0^m.45$ de longueur ; on a simplement allongé l'éclisse intérieure jusqu'à $0^m.54$, de manière à lui faire toucher, au moment de la pose, les deux coussinets des traverses de contre-joint. Sur toutes les voies qui ont été ainsi posées depuis six ans et dont quelques-unes sont en pente de 15 millimètres, les rails ne glissent pas sensiblement.

Parmi les nouveaux systèmes d'éclissage exposés, on remarque l'éclisse-ressort en acier de MM. G. E. Dering (pl. 4, fig. 2, 3 et 4). Cette éclisse est d'une seule pièce et embrasse l'extrémité des rails absolument comme un fourreau. D'après les auteurs et les certificats qui leur ont été délivrés par de nombreux ingénieurs anglais, cette éclisse conserve en service son élasticité et elle remplace avantageusement l'éclisse ordinaire, surtout par sa simplicité. Cette simplicité n'est pas contestable, au moins en apparence, mais les inconvénients du système semblent graves : impossibilité de placer une éclisse autrement qu'en y enfilant le rail; obligation, par conséquent, lorsqu'il s'agit de remplacer un rail dans une voie courante, de faire glisser l'éclisse sur le rail voisin. Cette nécessité de faire glisser l'éclisse ne permet de lui donner qu'une faible longueur ; ainsi dans la voie à double champignon du Midi, où la distance entre les roues des coussinets de contre-joint n'est que de $0^m.54$, on ne pourrait donner à l'éclisse-ressort qu'une longueur maxima de $0^m.25$, tout à fait insuffisante pour une consolidation convenable du joint. Dans la pose avec éclisse-ressort, les rails sont indépendants les uns des autres et chacun peut glisser sans rencontrer d'autre obstacle que les rails voisins; si bien que, aux origines du mouvement des rails (point où les déclivités changent), il peut arriver que deux rails se séparent complétement. Les inventeurs se proposent de remédier à cet inconvénient en rendant l'éclisse et les deux rails contigus solidaires au moyen de deux goujons goupillés ; mais le mouvement analogue à celui qui se produit dans tout éclissage à éclisses égales ne sera pas empêché et il sera d'autant plus considérable que l'éclisse-ressort doit être plus courte.

M. Berrens a exposé le dessin d'un éclissage spécial qu'il a appliqué en Italie sur la ligne de Pracchia à Pistoïa (pl. 4, fig. 5 et 6). Il en donne la description suivante :

« Cette voie est la continuation de la ligne qui part de Bologne remontant la vallée du Reno avec des pentes qui ne dépassent pas 15 millimètres. Elle traverse le faîte des Apennins par un tunnel, et descend en pente de 25 millimètres par un tracé formant des lacets nombreux avec des courbes de 200 mètres et des viaducs en grand nombre, qui amèneraient les accidents les plus graves si un déraillement venait à se produire.

« La traction des trains devant se faire avec les machines à huit roues, système Beugniot, il devait en résulter une pression considérable des boudins des roues d'avant contre les rails. Ces pressions amènent dans les

courbes le déplacement des joints vers l'extérieur, et les bouts des rails déformés font des angles qui peuvent être assez grands pour que le boudin des roues quittant un rail puisse monter sur le rail suivant.

« C'est pour éviter ces causes d'accidents qui se produisent sur les voies sans éclisses ou à éclisses courtes que nous avons jugé nécessaire d'employer des éclisses de 1m.40 de longueur à patin embrassant le champignon inférieur des rails et s'appuyant sur trois traverses.

« Les quatre éclisses serrant les deux rails de la voie forment un châssis rigide qui rend les joints aussi résistants latéralement que le rail au milieu de sa longueur. »

Nul doute que cet éclissage ait répondu au but poursuivi par l'auteur; mais on peut lui reprocher d'être coûteux à cause de la longueur considérable des éclisses, et, par la même raison, d'être d'une pose assez difficile. Il supprime enfin le porte-à-faux du joint, condition qui semble si essentielle pour la conservation des extrémités des rails. On peut se demander, en outre, quand on a vu comment les voies éclissées en porte-à-faux et en courbe de 300 mètres se comportent dans nos grandes gares, si l'éclissage appliqué par M. Berrens n'a pas été nécessité beaucoup plus par les dispositions des machines que par la petitesse du rayon des courbes.

§ 2. — Voie Vignoles.

La grande expérience faite sur le chemin de fer du Nord a conquis beaucoup de partisans à la voie Vignoles, et ce système, prenant chaque jour plus d'extension, est actuellement adopté par les Compagnies de Paris-Méditerranée et de l'Est pour toutes les voies à grande et à petite circulation, et par la Compagnie d'Orléans pour le Réseau Central et le Réseau Breton. Les petites Compagnies et les chemins de fer départementaux la préfèreront indubitablement par raison d'économie, tout au moins.

Cependant, il est avéré que les crampons ne tiennent pas suffisamment dans les traverses en bois tendres tels que le sapin du nord et le pin maritime: ce qui se passe sur certaines lignes françaises et sur les chemins espagnols ne laisse aucun doute à ce sujet. Cet inconvénient est grave car l'emploi des traverses en bois tendre se généralise chaque jour davantage, même sur les chemins à grande circulation. Pour le faire disparaître, ou tout au moins pour l'atténuer, M. Desbrières, ingénieur civil, a proposé, il y a quelques années, des bagues en fonte incrustées dans le bois et au travers desquelles doivent passer les crampons. Ces bagues ont été employées sur les chemins algériens et vont être appliquées sur 250 kilomètres environ de lignes françaises. L'expérience aura donc bientôt prononcé sur leur efficacité.

Les dispositions des voies Vignoles appliquées jusqu'à ce jour diffèrent entre elles quant au poids du rail, à la dimension et à l'écartement des traverses, mais surtout quant au mode d'attache du rail sur les traverses. En Angleterre, le poids du rail a été considérablement augmenté, et porté à 46 kilogrammes sur le chemin de fer du North-Western. En Belgique, on n'a pas dépassé 38 kilogrammes et demi, et je ne pense pas que ce poids ait été atteint en Espagne, en Italie et en Allemagne, si ce n'est à la traversée du Semmering, où le rail pèse 40 kilogrammes. En France, on s'en est tenu au poids de 37 kilogrammes environ ; la Compagnie de Paris-Méditerranée, seule, a élevé ce poids à 40 kilogrammes dans son dernier type de voie dont je parlerai bientôt.

L'écartement des traverses a été généralement maintenu aux environs de 1 mètre. Il y a des Compagnies, cependant, qui ont réduit ces écartements : celle de Paris-Méditerranée a adopté la distance de $0^{m}.80$.

L'attache du rail comprend les crampons ou tirefonds et les selles. Le crampon employé dès l'origine des voies Vignoles a été maintenu pour les traverses en bois dur ; mais on paraît préférer le tirefond pour la fixation des rails sur les traverses en bois tendre. Quant aux selles, les Compagnies du Nord et de l'Orléans n'en mettent pas aux joints ; la compagnie de Paris-Méditerranée a, au contraire, jusqu'à ces derniers temps, employé une selle de joint : elle ménageait ainsi les traverses au détriment des abouts des rails. La disposition des deux autres Compagnies semble bien préférable.

La Compagnie de Paris-Méditerranée vient d'arrêter un type de voie Vignoles étudié surtout en vue d'obtenir une grande stabilité (pl. 4, fig. 7, 8, 9, 10 et 11). Les caractères distinctifs de ce type sont les suivants :

1° Rail de 40 kilogrammes au mètre courant ayant une base de $0^{m}.130$ égale à la hauteur. Le rail précédent n'avait que $0^{m}.100$ de base pour la même hauteur.

L'augmentation de poids de 3 kilogrammes par mètre courant a été employée uniquement à élargir la base, de manière à mieux asseoir et consolider le rail sur la traverse. Cette modification prouve évidemment contre la stabilité du rail Vignoles sur la traverse.

La tige du rail a $0^{m}.016$ d'épaisseur et le champignon $0^{m}.060$ de largeur. Les lignes de contact du rail avec les éclisses sont inclinées sur l'horizontale suivant un angle de 26° 34'.

2° On a ajouté une traverse par rail ; de telle sorte que la surface d'appui de la voie sur le ballast se trouve portée à $0^{m2}.900$ par mètre courant : c'est environ $0^{m2}.150$ de plus que dans les voies ordinaires.

3° La longueur des éclisses est de $0^{m}.480$ au lieu de $0^{m}.400$. La voie Vignoles a cet avantage qu'on n'est pas forcément limité pour la longueur à donner aux éclisses.

4° L'éclissage au lieu d'être sur traverse est en porte-à-faux. — C'est, je crois, la première application faite en France de l'éclissage en porte-

à-faux à la voie Vignoles. — Cette disposition aura sans doute la plus salutaire influence sur la conservation des abouts des rails.

5° Enfin, une disposition ingénieuse, et que l'examen du dessin fait aisément comprendre, a été adoptée en vue d'empêcher le desserrage spontané des écrous. Cette disposition sera assurément efficace, mais elle semble superflue, parce que des écrous, convenablement serrés pendant les premiers mois d'exploitation, tiennent généralement bien. D'un autre côté, il y a toujours désavantage à augmenter les éléments constitutifs de la voie, surtout dans les petites pièces qui peuvent facilement se perdre dans les transports et les manutentions.

On voit, en résumé, que rien n'a été négligé pour obtenir une voie solide, et, par suite, très-stable; mais les modifications faites dans ce but représentent, avec le rail Bessemer que se propose d'employer la Compagnie, un excédant de dépense qui ne peut être inférieur à 4.000 fr. par kilomètre de simple voie : c'est près de 20 p. 100 de plus que le prix de la voie Vignoles ordinaire. Le tout est de savoir si ce surcroît de dépense sera racheté par une augmentation suffisante de durée de la voie.

§ 3. — Rails.

Le poids des rails qui a été successivement porté de 20 à 37 kilogrammes, c'est-à-dire presque doublé, tend à être encore augmenté. En Angleterre, cette tendance est manifeste; dans les autres pays, elle l'est moins, et, en France, la Compagnie de Paris-Méditerranée est la seule qui, jusqu'à présent, se soit décidée à dépasser sensiblement cette limite. Cette question est très-discutée et elle le sera probablement longtemps; car, comme tous les problèmes se rattachant au matériel des voies, les circonstances qui influent plus ou moins directement sur la solution à trouver, sont fort difficiles à analyser. Toutefois, si l'on se rappelle que les rails durs, et, par cela même un peu cassants, comme les rails du Creusot et de Stiring, en France, comme ceux de Thy-le-Château, en Belgique, ne cassent pas notablement plus que les autres, même pendant les mois de l'année où les ruptures sont le plus à craindre, on se demande naturellement pourquoi on ne s'en tiendrait pas au poids de 37 kilogrammes? Ce n'est pas pour augmenter la durée des rails ordinaires, puisque ces rails sont mis hors de service beaucoup plus par la désagrégation de la matière qui les compose que par l'usure réelle. Quant aux rails en acier, qui ont l'avantage immense d'être plus durs et surtout plus homogènes que les rails ordinaires, ce ne sont sans doute pas quelques kilogrammes de plus, répartis sur toute la section, qui pourront ajouter notablement à leur durée au delà d'une certaine limite. Enfin, depuis quelques années, on cherche à accroître l'adhérence des machines bien plus en augmentant leurs points d'appui qu'en surchargeant outre mesure les essieux, et, d'un

autre côté, la charge de 13 tonnes par essieu, déjà bien élevée, paraît être acceptée comme une limite maxima qui ne peut être franchie sans péril pour la conservation de la voie; il est donc permis de croire que le poids de 37 kilogrammes est suffisant et le sera pendant longtemps. Les partisans de l'augmentation du poids des rails font surtout valoir que la vitesse augmentant sans cesse, on ne peut avoir une voie stable qu'en renforçant tous ses éléments. Cet argument peut être réduit à sa juste valeur en faisant remarquer que, du moment qu'un rail est assez résistant, la stabilité d'une voie s'obtient en perfectionnant les attaches sur les traverses, et en augmentant le nombre et surtout les dimensions de ces dernières.

Rails en fer. — On est à peu près d'accord aujourd'hui sur la nature des minerais donnant les meilleurs rails. Les usines qui sont à proximité de ces minerais peuvent faire de bons rails; celles qui en sont éloignées et qui ne peuvent s'en procurer, parce que les transports à grandes distances sont toujours onéreux, sont fatalement condamnées à faire des rails de qualité inférieure. C'est pourquoi les compagnies de chemins de fer, quand elles ont à se procurer des rails, devraient se préoccuper davantage, à égalité sensible de prix, du choix de l'usine que de la composition minutieuse d'un cahier de charges souvent inexécutable. Non qu'il soit superflu de stipuler certaines conditions ayant pour but de s'assurer, par exemple, de la résistance des rails et de leur élasticité; mais il est parfaitement illusoire d'écrire que telle usine devra fournir des rails en fer à grain ou bien soudés, alors qu'on sait qu'elle ne dispose que des fers nerveux ou peu soudants. Il est juste d'ajouter que les usines traitant les meilleurs minerais ont eu généralement la préférence; qu'ainsi elles ont pu, le développement de la production aidant, perfectionner leur outillage et faire de la fabrication des rails une spécialité: condition si essentielle pour obtenir de bons produits.

Les efforts pour améliorer la fabrication des rails en fer ordinaire n'ont pas porté seulement sur le choix bien entendu des minerais: le squeezer a été exclu de presque toutes les usines et les boules de fer puddlé ne sont plus guère travaillées qu'au marteau pilon. Le chauffage des paquets est plus énergique, et, par conséquent, les chances de soudure sont plus grandes. Le choix des fers, pour la composition des paquets, se fait avec un soin minutieux; la section des paquets a été généralement augmentée pour obtenir un corroyage plus complet. Enfin, l'outillage a été sans cesse amélioré, et, aujourd'hui, les opérations de finissage se font, dans les grandes usines, d'une manière à peu près irréprochable.

Les couvertes sont laminées à plat, sauf à Stiring, où le laminage des couvertes pour les rails de la Compagnie du Nord est fait de champ; mais les rails fabriqués avec ces couvertes n'ont pas donné, paraît-il, les bons résultats qu'avaient fait espérer les premières années de leur mise

en service. Ce procédé avait été cependant justifié par les arguments les plus spécieux.

L'usine du Creusot ayant remarqué qu'un certain nombre de ses rails s'usait surtout par l'extrémité sortie la dernière du laminoir, a pris le parti très-sage d'augmenter légèrement le poids du paquet et d'abattre à la scie deux longueurs inégales : $0^m.40$ à l'extrémité sortie la dernière du laminoir et $0^m.30$ à l'autre.

La fabrication des rails entièrement en fer puddlé, qui a pris en Allemagne une assez grande extension, et qui a été pratiquée en Belgique pour quelques compagnies étrangères, a donné lieu, en France, à des essais qui n'ont pas été couronnés de succès. Ces essais ont échoué par la difficulté d'obtenir des rails non criqués. L'usine de l'Horme a fait, toutefois, il y a deux ans, une tentative assez heureuse en fabriquant, pour la Compagnie du Midi, 80 tonnes de rails en fer puddlé. Le paquet (pl. I, fig. 12) était composé à l'intérieur comme les paquets ordinaires ; la couverte était formée de trois pièces à section transversale trapézoïdale, de telle sorte que chaque barre recouvrît partiellement la barre voisine ou fût recouverte par elle. Les rails fabriqués avec ces paquets paraissaient fort bien soudés, et ils étaient si peu criqués que les rebuts de réception ne se sont élevés qu'à 3 p. 100 environ. Trois cents de ces rails sont en service depuis un an sur une des voies principales du réseau.

Si la fabrication des rails en fer puddlé devait être reprise un jour, il y aurait lieu de mettre à profit le procédé pratiqué par l'usine du Creusot pour obtenir les couvertes en fer n° 1 destinées à la fabrication des tôles. Ce procédé consiste à transformer la loupe, par le martelage, en larget, et à la faire passer ensuite dans cinq cannelures dont la largeur est presque constante et dont la hauteur seulement est décroissante. On obtient ainsi des couvertes en fer brut de $0^m.25$ de largeur, et qui, néanmoins, sont peu criquées sur les bords.

Il n'y a pas plus de quinze ans qu'on était encore assez peu fixé sur les meilleures épreuves à faire subir aux rails pour s'assurer de leur qualité : les cahiers des charges de l'époque se ressentent de cette indécision. Aujourd'hui, les idées sont à peu près fixées et des épreuves bien déterminées permettent de vérifier la texture du métal, la soudure, la résistance au choc et à la flexion. Presque toutes les compagnies ont eu le bon esprit d'adopter, pour les essais au choc, l'appareil étudié par la Compagnie de Paris-Méditerranée et qui, on le sait, diffère de l'ancien appareil, notamment par la disposition de l'enclume qui est composée d'un seul bloc en fonte de dix mille kilogrammes. Presque toutes les usines françaises étant munies de cet appareil, les épreuves au choc sont maintenant comparables.

On a renoncé à la funeste habitude d'exiger des résistances exagérées au choc et à la flexion. Pour certains rails durs et bien soudés, mais un peu fragiles, on a adouci les épreuves, afin de ne pas obliger les usines

à sacrifier la qualité la plus précieuse de leurs produits, en cherchant un surcroît de résistance. Enfin, la température influant sur la résistance, on en tient compte aujourd'hui dans les épreuves.

Une seule propriété très-essentielle des rails, la dureté, n'a pu être encore mesurée avec exactitude, à défaut d'un appareil convenable. Le duromètre, sur lequel on comptait beaucoup, est aujourd'hui abandonné par presque toutes les compagnies, à cause de la variabilité de ses indications. Ainsi, on a constaté que, sur le même rail et à quelques centimètres seulement de distance, il accusait des duretés très-différentes. Les résultats qu'il fournit ne sont pas d'ailleurs comparables : pour qu'ils le fussent, il faudrait des lames perforantes exactement semblables, pas plus usées les unes que les autres, trempées absolument au même degré de recuit, toutes conditions impossibles à obtenir dans la pratique. Un bon moyen pour apprécier la dureté des rails est donc encore à trouver et on ne saurait trop le chercher.

Autrefois l'épreuve sur la voie n'était que d'une année, durée complétement illusoire, surtout à une époque où le trafic était peu développé. Elle portait sur l'ensemble des fournitures, ce qui obligeait à suivre tous les rails pour rebuter ceux qui étaient détériorés à l'expiration du délai de garantie : c'était à peu près impraticable. La garantie est maintenant de deux ans au moins ; elle ne porte généralement que sur une fraction de chaque fourniture et la détérioration constatée sur cette fraction est appliquée à l'ensemble. Ce mode de procéder est certainement plus rigoureux que le précédent, mais les usines ne doivent pas le regretter ; car, autant que les compagnies, elles ont intérêt à savoir comment se comportent réellement leurs rails.

Rails cémentés. — La dureté des rails s'imposant de plus en plus comme une propriété essentielle, certaines usines ont cherché à l'obtenir en cémentant les tables de roulement sur une profondeur de 5 à 6 millimètres. Les forges du Phœnix (Prusse Rhénane) ont livré pour la ligne à fortes pentes de Pistoïa à Pracchia, en Italie, des rails cémentés qui paraissent devoir faire un bon service puisqu'au bout de trois années, trois rails seulement ont dû être retirés pour une dessoudure à l'extrémité.

Les forges d'Alais et la société anonyme de Maubeuge ont exposé des échantillons de rails cémentés se ressemblant beaucoup. Cependant, la texture du fer, dans les échantillons de Maubeuge, se trouve altérée sur toute la section du rail, au point de faire craindre que les rails ne soient un peu cassants. Cette altération qui se produit aussi, mais moins profondément, dans les rails d'Alais, tient peut-être à ce que des gaz carburés échappés du cément, dont le champignon est entouré, s'infiltrent à travers les grains de sable dont se trouve environné le reste du rail. Cette action altérante n'est, d'ailleurs, pas limitée à la surface du rail ; elle pé-

nètre dans son intérieur d'une manière uniforme, et donne au fer nerveux l'aspect du fer à grain.

La cémentation, en durcissant les surfaces, change leur état moléculaire et doit, par conséquent, tendre à provoquer la séparation de la couverte. Elle augmente le prix des rails d'environ 50 fr. par tonne. C'est beaucoup pour un résultat incertain. D'un autre côté, elle ne peut guère être appliquée qu'aux rails Vignoles, puisqu'il ne serait pas possible, sans rendre le rail par trop cassant, de cémenter les deux bourrelets du rail à double champignon.

RAILS MIXTES. — C'est toujours dans le but d'améliorer la table de roulement que la fabrication du rail mixte a été tentée. La Compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche et de la Lombardie est la première qui se soit décidée à employer, pour les voies du Semmering, des rails en fer avec couvertes en Bessemer. Dès 1864, elle a commencé à fabriquer ces rails à son usine de Gratz et elle augurait très-bien du succès. Ces rails coûtaient 40 fr. de plus que les rails ordinaires fabriqués à la même usine et revenaient à 335 fr. la tonne; c'est fort cher, mais il est vrai que la couverte représente plus du sixième du poids total du paquet. Elle a d'ailleurs la forme des anciennes couvertes à crochet, et enveloppe complétement le champignon dans le rail fini. Ce mode de fabrication paraît avoir réussi, au moins jusqu'à présent, puisque la Compagnie a employé les mêmes rails mixtes sur les 124 kilomètres de la ligne du Brenner.

Treize établissements ont exposé des rails mixtes. — Pour la France, Boigues-Rambourg et Ce, Terre-Noire, Maubeuge, Verdié, Martin; pour la Prusse, Haerder, Rothe-Erder, Phœnix; pour l'Autriche, Reschitza, Zeltwaz, Styrie, chemin de fer du Sud; pour l'Angleterre, J. Dixon.

Tous les échantillons exposés sont beaux et paraissent bien soudés; mais est-il possible que l'acier et le fer, qui sont si dissemblables et qui exigent une température d'élaboration si différente, puissent se souder convenablement? Il est, au moins, permis d'en douter, quand on considère toute la difficulté qu'on éprouve ordinairement à souder, dans les rails ordinaires, les fers n°s 1 et 2, qui sont cependant fabriqués dans chaque usine par les mêmes procédés et avec les mêmes minerais. L'expérience faite en France autorise au moins ce doute, puisqu'une des usines qui ont exposé a dû suspendre sa fabrication et résilier un marché, parce que les premiers rails mixtes qu'elle avait livrés s'étaient mal comportés après un essai à court délai.

Le prix actuel des rails mixtes en France est, sur le carreau de l'usine, d'environ 260 francs.

La fabrication de ces rails ne peut être considérée que comme un expédient pour avoir des rails durs à un prix abordable. Aucune application en grand n'en a été faite ailleurs qu'en Autriche (Semmering et

Brenner); et, en présence des immenses progrès réalisés dans la fabrication du Bessemer, il est probable que le rail mixte, qui a pu avoir un moment de faveur, ne sera bientôt plus employé que comme moyen de tirer parti des vieux rails en fer.

Rails en acier. — Depuis longtemps déjà l'acier fondu était employé dans les changements de voie pour les aiguilles, les contre-aiguilles, les pattes de lièvre et les pointes de croisement. L'acier puddlé a reçu la même destination, mais, quoique d'un prix inférieur, il a été moins utilisé à cause de la variabitité de sa qualité.

L'acier Bessemer, dont la fabrication a été sans cesse en s'améliorant et le prix en diminuant, s'est non-seulement substitué aux aciers précédents dans la construction des appareils, mais il va recevoir de grandes applications comme rails de voie courante. Ce dernier fait est assurément le progrès le plus important qui ait été réalisé dans le matériel des voies depuis l'origine des chemins de fer. La Compagnie de Paris-Méditerranée, convaincue des avantages du nouveau métal, a commandé, il y a peu de temps, à l'usine de Terre-Noire, 20.000 tonnes de rails Bessemer pour le renouvellement d'une partie de la voie de Paris à Marseille. D'autres compagnies l'ont précédée ou se proposent de l'imiter. Ainsi ;

La Compagnie d'Orléans a renouvelé une partie de la rampe d'Étampes en rails Bessemer, et elle a commandé 2.000 tonnes de ces mêmes rails pour la traversée du Cantal.

La Compagnie du Midi a posé des rails Bessemer, concurremment avec des rails ordinaires du Creusot, sur la pente de 32 millimètres par laquelle la ligne de Toulouse à Bayonne descend le plateau de Lannemezan, en amont de Tarbes.

La Compagnie du Nord fait fabriquer à Imphy 3.000 tonnes de rails en acier Bessemer, destinés à être posés sur les voies les plus fatiguées aux abords de Paris.

Enfin, la Compagnie de l'Ouest va renouveler avec les mêmes rails les voies de Paris à Colombes et à Auteuil.

Les usines françaises vont donc passer d'une période d'essais et de tâtonnements à un régime de fabrication courante qui leur permettra de perfectionner leurs procédés, de mieux étudier les fontes les plus propres à produire de bons rails, et, par suite, de baisser leurs prix dans un avenir prochain.

La fabrication du Bessemer s'est rapidement développée ainsi que le montre le relevé suivant des commandes faites depuis cinq ans ;

En 1863.	1.856 tonnes.
1864.	6.750
1865.	9.751
1866.	10.790
1867.	28.000

L'irrégularité de la qualité a été le principal obstacle à l'accroissement de la production, et, par suite, à l'abaissement du prix. Pendant bien des années, les usines françaises n'ont traité que des fontes étrangères semblables à celles qu'avaient choisies les maîtres de forges anglais: ces fontes qui étaient censées être bonnes ne l'étaient pas toujours, et c'est ainsi que j'ai vu, il y a trois ans, rebuter dans une usine 30 p. 100 des barres fabriquées, à cause des criques profondes qui les rendaient inutilisables. A part la fonte carburée d'addition qui vient encore de Siegen, les usines françaises font maintenant elles-mêmes leurs fontes à Bessemer. Elles introduisent, il est vrai, du minerai étranger dans les lits de fusion; mais, du moins, elles sont maîtresses de leur fabrication, et elles ont si bien réussi que les rails Bessemer sont reçus aujourd'hui avec moins de rebuts que les rails ordinaires.

Il ne faut pas croire, cependant, que la qualité des produits soit devenue régulière; le rabotage des aiguilles et des pointes de croisement montre le contraire: tantôt, et le plus souvent, l'outil marche aussi facilement que s'il travaillait la fonte grise la plus douce, tantôt il est ralenti par la rencontre de rognons aussi durs que la fonte blanche. Ces irrégularités tiennent, sans doute, beaucoup plus au procédé lui-même qu'à la qualité des matières employées; car, il est difficile d'admettre que le mélange de la fonte d'addition avec le bain de fonte grise décarburée puisse se faire d'une manière intime dans quelques secondes. Le procédé Suédois doit donner certainement des produits de qualité plus égale.

La dureté est une qualité essentielle à réaliser pour les rails Bessemer, qui doivent s'user à la façon des bandages et non se détériorer comme les rails ordinaires. Il faut que le retournement du rail à double champignon soit toujours possible et que la mise hors de service d'un rail, quel que soit son profil, ne puisse être prononcée qu'après une durée qui compense au moins son excès de valeur sur le rail ordinaire. Les usines ont commencé par faire des rails très-durs, mais cassants; elles sont maintenant tombées dans un excès contraire en fabriquant des rails qu'on ne peut casser dans les épreuves au choc, mais qui paraissent un peu mous. C'est pour les rails Bessemer, surtout, qu'il serait intéressant de trouver un moyen permettant d'apprécier leur dureté relative avec quelque exactitude.

C'est ici le lieu de dire quelques mots du mode de garantie qui devra être appliqué aux rails en acier Bessemer. Jusqu'ici on a écrit dans les cahiers des charges une clause identique à celle des rails ordinaires; mais si ces derniers rails, au bout de trois ans, par exemple, se détériorent toujours en partie par suite de l'imperfection de la soudure, il n'en sera évidemment pas de même des rails Bessemer au bout des cinq ou six ans de garantie qui semblent maintenant admis comme un terme convenable. Quel est donc le genre de détérioration qui devrait servir de base à la garantie de ces rails ? C'est le départ ou le dépla-

cement de la matière, et, par suite, l'altération du profil des rails. Mais quelle limite adopter pour cette altération après un certain nombre d'années de service, et d'ailleurs comment la mesurer? C'est là une question fort importante qui ne peut être que posée, quant à présent, mais que les compagnies ont grand intérêt à résoudre.

L'acier Bessemer est largement représenté à l'Exposition : Pour la France, par MM. Pétin et Gaudet, Terre-Noire, Imphy, Niederbroon, Châtillon, Commentry et Fraisans ; pour la Suède, par sept usines ; pour l'Autriche, par quatre usines ; pour l'Angleterre et la Prusse, par une usine de chaque pays. Les différences de texture que présentent les divers échantillons sont si légères qu'il est impossible de les décrire. On peut, cependant, reconnaître une ressemblance plus marquée entre les aciers de Terre-Noire et ceux des différentes usines de Suède; ce qui tient probablement à ce que, de part et d'autre, on opère avec de la fonte tirée directement du haut-fourneau. Le grain des aciers suédois, fabriqués au charbon de bois, est néanmoins un peu plus blanc et plus serré.

En général, à cette exception près, les usines étrangères paraissent tenir moins que nous à la finesse du grain qui caractérise l'acier au creuset. Ainsi, le métal Bessemer des usines prussiennes et autrichiennes présente le plus, souvent une cassure un peu fibreuse et des arrachements que l'on considérerait en France comme l'indice d'une parenté trop grande avec le fer.

A ne considérer que l'aspect des produits, il serait bien difficile de dire laquelle des usines françaises mérite d'être regardée comme supérieure aux autres. L'exposition de MM. Petin-Gaudet est certainement hors ligne pour la puissance et la perfection des pièces forgées, mais l'acier, dont elle renferme de nombreux échantillons, paraît un peu moins dur que celui d'Imphy et de Terre-Noire. L'exposition de cette dernière usine, quoique plus modeste, a cela de remarquable qu'elle présente une série complète de cassures, passant insensiblement, en quelque sorte, des aciers ferreux les plus mous aux aciers très-durs, et, parallèlement, un tableau des différentes épreuves à la traction qu'ont supportées les mêmes aciers. Il faut ajouter que l'usine d'Imphy a réalisé, depuis l'année dernière, un grand progrès par l'emploi de lingotières tournantes faisant de 30 à 35 tours par minute. Elle peut, par ce moyen, couler des lingots presque sans soufflures.

On peut se demander quels sont les avantages que retireront les compagnies de chemins de fer de l'emploi du Bessemer dans la voie courante. Pour répondre à cette question il faut considérer la durée du rail, son prix à l'état neuf et la valeur à laquelle il se trouve réduit quand il est hors de service.

Au sujet de la durée il n'est guère possible de faire que des conjectures. Dans une note fort intéressante, publiée dans les *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* (numéro de janvier 1867), M. le général Morin

rend compte d'essais comparatifs qui ont été faits, dans la station de Camden-Town, en Angleterre, entre 52 rails en acier Bessemer et des rails ordinaires. Il résulte de ces expériences que la durée moyenne d'un rail à double champignon sur lequel passent 8.000 wagons et 400 locomotives par 24 heures, a été, pour chaque table, de 77 jours, tandis qu'un rail d'acier Bessemer, posé le même jour, n'avait pas été retourné encore après cinq ans environ de service. La durée de la table de ce dernier rail a été, par conséquent, supérieure à 24 fois celle d'une table de rail en fer.

Ce résultat est digne d'attention ; mais, pour qu'il fût absolument concluant, il faudrait être bien fixé sur la qualité des rails en fer et savoir si les rails Bessemer, employés en très-petit nombre, n'avaient pas été spécialement fabriqués pour la circonstance. En général, des essais faits sur une si petite échelle ne peuvent inspirer qu'une confiance bien limitée. En tout cas, il faut se garder de conclure de la comparaison ci-dessus qu'un rail Bessemer remplaçant un rail en fer dont la durée serait de 10 ans, pourrait rester 240 ans dans la voie. Tout ce qu'on peut dire, quant à présent, c'est que si les usines réussissent à faire des rails assez durs pour ne pas se déformer sensiblement à la longue, sous le poids des machines, ces rails dureront beaucoup plus que les rails en fer.

Le prix des rails Bessemer a été continuellement s'abaissant, et de 550 fr. en 1864 il est descendu à 315 fr. en 1867; ce dernier prix est celui du marché de 20.000 tonnes passé avec la Compagnie de Paris-Méditerranée et il s'applique aux rails livrables à l'usine. On peut compter environ 330 fr. pour les rails rendus sur les lignes de chemins de fer, à une certaine distance des usines. Comme ce prix comprend 28 fr. de droit de brevet et que, dans deux à trois ans, le procédé sera tombé dans le domaine public, on aura alors des rails à 300 fr. au plus la tonne ; car il est peu probable qu'il n'y ait pas une nouvelle baisse de prix résultant du perfectionnement et du développement de la fabrication.

Il est impossible de dire ce que sera le prix des vieux rails Bessemer lorsque, toutes les lignes à grand trafic étant garnies de ces rails, la quantité annuellement retirée de la voie se trouvera être considérable. Les quelques rails détériorés que l'on retire aujourd'hui des voies se placent facilement; mais les Compagnies seraient fort embarrassées si elles en avaient des milliers de tonnes. Il est certain que si l'on ne trouvait pas un moyen de transformer les vieux rails Bessemer en d'autres rails, il y aurait là un grand obstacle à l'extension de l'emploi de ce métal dans les voies courantes ; mais les métallurgistes sont déjà à l'œuvre et il est probable que la transformation sera possible par le procédé de fusion de l'acier dans le four à reverbère.

Ces préliminaires posés, on peut se rendre compte, par approximation, de l'économie que l'emploi des rails en acier Bessemer permettra

de réaliser dans le renouvellement des voies. Remarquons que les traverses et les accessoires de la voie ont une durée à peu près indépendante de celle des rails et que, par conséquent, dans la comparaison qui va être faite on peut laisser de côté ces matériaux. Admettons, en outre :

1° Que le rail en fer neuf vaut 200 fr. et le vieux rail 100 fr. ; de telle sorte que la perte de prix d'une tonne de rails hors de service est de 100 fr.

2° Que l'acier Bessemer vaut 300 fr. et que, hors de service, il ne vaudra plus que 200, 150 ou 100 fr. la tonne, suivant le parti qu'il sera possible d'en tirer.

Il y aura donc trois hypothèses à faire, correspondant aux trois pertes de prix d'une tonne de vieux rails Bessemer : 100 fr., 150 fr., 200 fr.

3° Que les frais de dépose et de repose, compris les transports et les manutentions des matériaux, s'élèvent à 5000 fr. par kilomètre de simple voie.

Les dépenses par kilomètre seraient donc,

Comme premier établissement :

	RAILS EN FER.	RAILS EN ACIER.
	fr.	fr.
74 tonnes de rails	14.800 »	22.200 »
Main-d'œuvre, transports, etc.	5.000 »	5.000 »
Totaux	19.800 »	27.200 »

Et comme renouvellement :

	RAILS en FER.	RAILS EN ACIER.		
		1re HYPOTHÈSE.	2e HYPOTHÈSE.	3e HYPOTHÈSE.
	Perte 100 fr.	Perte 100 fr.	Perte 150 fr.	Perte 200 fr.
	fr.	fr.	fr.	fr.
74 tonnes de rails	7.400 »	7.400 »	11.100 »	14.800 »
Main-d'œuvre, transports, etc.	5.000 »	5.000 »	5.000 »	5.000 »
Totaux	12.400 »	12.400 »	16.100 »	19.800 »

Remarquant que la dépense annuelle se compose de l'intérêt du capital engagé et de son amortissement dans une période de 99 ans, augmenté de l'annuité nécessaire pour reconstituer au bout d'un certain nombre d'années le capital représentant la dépréciation, on dressera le tableau suivant pour une période de 25 ans :

DURÉE des RAILS.	RAILS EN FER. Perte = 100 fr.			RAILS EN ACIER BESSEMER. 1re HYPOTHÈSE. Perte = 100 fr.			2e HYPOTHÈSE. Perte = 150 fr.			3e HYPOTHÈSE. Perte = 200 fr.		
	INTÉRÊT et AMORTISSEMENT à 5.75 0/0.	ANNUITÉ de RENOUVELLEMENT	TOTAL.	INTÉRÊT et amortissement à 5.75 0/0.	ANNUITÉ de renouvellement.	TOTAL.	INTÉRÊT et amortissement à 5.75 0/0.	ANNUITÉ de renouvellement.	TOTAL.	INTÉRÊT et amortissement à 5.75 0/0.	ANNUITÉ de renouvellement.	TOTAL.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
5 ans...	1138 00	2243 00	3381 00	1564 00	2243 00	3807 00	1564 00	2912 00	4176 00	1564 00	3582 00	5146 00
6 — ...	1138 00	1745 00	2883 00	1564 00	1745 00	3309 00	1564 00	2266 00	3830 00	1564 00	2786 00	4350 00
7 — ...	1138 00	1490 00	2628 00	1564 00	1490 00	3054 00	1564 00	1935 00	3499 00	1564 00	2380 00	3914 00
8 — ...	1138 00	1298 00	2336 00	1564 00	1298 00	2862 00	1564 00	1686 00	3250 00	1564 00	2073 00	3637 00
9 — ...	1138 00	1123 00	2261 00	1564 00	1123 00	2687 00	1564 00	1459 00	3023 00	1564 00	1794 00	3358 00
10 — ...	1138 00	980 00	2118 00	1564 00	980 00	2544 00	1564 00	1272 00	2836 00	1564 00	1564 00	3128 00
11 — ...	1138 00	872 00	2010 00	1564 00	872 00	2436 00	1564 00	1132 00	2696 00	1564 00	1392 00	2956 00
12 — ...	1138 00	779 00	1917 00	1564 00	779 00	2343 00	1564 00	1011 00	2575 00	1564 00	1243 00	2807 00
13 — ...	1138 00	699 00	1837 00	1564 00	699 00	2263 00	1564 00	908 00	2472 00	1564 00	1117 00	2681 00
14 — ...	1138 00	632 00	1770 00	1564 00	632 00	2196 00	1564 00	821 00	2385 00	1564 00	1010 00	2574 00
15 — ...	1138 00	570 00	1708 00	1564 00	570 00	2134 00	1564 00	741 00	2305 00	1564 00	911 00	2475 00
16 — ...	1138 00	521 00	1659 00	1564 00	521 00	2085 00	1564 00	676 00	2240 00	1564 00	832 00	2396 00
17 — ...	1138 00	484 00	1622 00	1564 00	484 00	2048 00	1564 00	628 00	2192 00	1564 00	772 00	2336 00
18 — ...	1138 00	434 00	1572 00	1564 00	434 00	1998 00	1564 00	564 00	2138 00	1564 00	693 00	2257 00
19 — ...	1138 00	405 00	1543 00	1564 00	405 00	1969 00	1564 00	526 00	2090 00	1564 00	647 00	2211 00
20 — ...	1138 00	374 00	1512 00	1564 00	374 00	1938 00	1564 00	486 00	2050 00	1564 00	598 00	2162 00
21 — ...	1138 00	346 00	1484 00	1564 00	346 00	1910 00	1564 00	449 00	2013 00	1564 00	552 00	2116 00
22 — ...	1138 00	321 00	1459 00	1564 00	321 00	1885 00	1564 00	417 00	1981 00	1564 00	513 00	2077 00
23 — ...	1138 00	299 00	1437 00	1564 00	299 00	1863 00	1564 00	388 00	1952 00	1564 00	477 00	2041 00
24 — ...	1138 00	273 00	1411 00	1564 00	273 00	1837 00	1564 00	354 00	1918 00	1564 00	436 00	2000 00
25 — ...	1138 00	259 00	1397 00	1564 00	259 00	1823 00	1564 00	336 00	1900 00	1564 00	414 00	1978 00
26 — ...	1138 00	242 00	1380 00	1564 00	242 00	1806 00	1564 00	314 00	1878 00	1564 00	386 00	1950 00
27 — ...	1138 00	226 00	1364 00	1564 00	226 00	1790 00	1564 00	293 00	1857 00	1564 00	360 00	1924 00
28 — ...	1138 00	212 00	1350 00	1564 00	212 00	1776 00	1564 00	275 00	1839 00	1564 00	339 00	1903 00
29 — ...	1138 00	108 00	1336 00	1564 00	198 00	1762 00	1564 00	258 00	1822 00	1564 00	317 00	1881 00
30 — ...	1138 00	180 00	1321 00	1564 00	180 00	1750 00	1564 00	242 00	1806 00	1564 00	297 00	1861 00

Il résulte de ce tableau :

Que plus la durée des rails en fer est courte, plus il y a intérêt à remplacer ces rails par de l'acier Bessemer.

Qu'étant donnés des rails en fer qui durent dix ans, par exemple, il y aura avantage à leur substituer des rails en acier, à la condition que ces derniers durent, au moins, 15, 18 ou 21 ans, suivant que les vieux rails seront vendus 200, 150 ou 100 fr. la tonne. Toute la durée des rails en acier au delà de ces limites sera un bénéfice net.

Que si on remplace des rails en fer durant 10 ans par des rails en acier durant 30 ans (cet écart ne semble pas exagéré), l'économie réalisée annuellement par cette opération sera de 368, 312 ou 257 fr. par kilomètre, suivant le prix de la vieille matière. Mais cette économie n'est qu'un minimum, attendu que plus longtemps les rails se conservent, moins il y a de main-d'œuvre d'entretien et moins on retire de matériaux accessoires.

§ 4. — Traverses.

Parmi les bois, autres que le chêne, utilisés à la confection des traverses, le hêtre et le sapin, le premier dans une plus grande proportion, ont été seuls employés en France jusqu'à ces dernières années; mais l'ouverture du chemin de fer de Bordeaux à Bayonne, au milieu des immenses forêts de pins qui bordent le littoral de l'Océan, a permis d'exploiter ces forêts jusqu'alors inaccessibles. Le pin maritime est venu ainsi s'ajouter aux autres essences pour la fabrication des traverses; employé sur une grande échelle par les Compagnies du Nord, de l'Ouest, de l'Orléans et du Midi, mais surtout par cette dernière, il paraît devoir donner de bons résultats.

Le hêtre préparé au sulfate de cuivre a eu sur les certaines lignes françaises une durée très-limitée, qui n'a pas dépassé six ans : les traverses s'étant presque toutes pourries aux endroits où elles se trouvaient en contact avec les coussinets ou les rails, on a attribué leur décomposition aux réactions chimiques qui ont dû se produire par la mise en présence du fer et du sulfate de cuivre. Le même phénomène ne s'est pas manifesté, au moins d'une manière notable, sur les traverses en pin maritime sulfaté qui sont en place sur le Réseau du Midi depuis bientôt dix ans ; on pense que la résine qui imprègne ces traverses doit former, avec le sulfate de cuivre, un composé qui neutralise l'action du fer, mais ce n'est là qu'une conjecture. Les traverses en pin ont sur le hêtre d'autres avantages : elles craignent moins le soleil et peuvent, sans se détériorer, attendre assez longtemps la préparation, et, après cette opération, rester plus longtemps encore dans les chantiers ; leur préparation est moins coûteuse parce que le tissu du bois étant plus gros et la proportion d'au-

bier moindre, la quantité de liquide absorbée est moins considérable. Si, à ces considérations, on ajoute que le pin maritime est moins cher que le hêtre, on comprendra que depuis quelques années, cette dernière essence soit délaissée au profit de la première.

On peut objecter que le pin est moins dur que le hêtre, mais cet inconvénient est peu sérieux pour la voie à double champignon, et, pour la voie Vignoles, il sera très-atténué par l'emploi des bagues de M. Desbrières.

L'insuccès des traverses en hêtre sulfaté remet la créosote en faveur, malgré son prix plus élevé; mais on ne peut dire, *a priori*, d'une manière absolue, que tel procédé est meilleur que tel autre. Dans chaque cas particulier une comparaison doit être faite en tenant compte du prix des matières et de la durée probable des bois.

Un procédé nouveau, quant aux moyens d'application, et très-préconisé depuis quelque temps, notamment à l'étranger, est venu se joindre aux procédés si répandus de préparation au moyen de liquides antiseptiques : c'est la carbonisation par l'appareil de MM. Hugon-Lapparent. Je ne décrirai pas cet appareil que tout le monde connaît. Je me bornerai à faire remarquer que si la carbonisation peut être une bonne chose pour des bois qui n'ont pas de façon à subir après l'opération et qui, en service, sont à l'abri de toute atteinte pouvant enlever la pellicule carbonisée, elle me paraît illusoire pour les traverses et, d'ailleurs, difficile à pratiquer. En supposant, en effet, que la carbonisation des traverses puisse être faite d'une manière complète (aussi bien dans les fentes du bois qu'à la surface), il faudrait toujours, au moment du sabotage, carboniser les surfaces mises à nu par l'herminette et les trous de chevillettes ; cette carbonisation après coup exigerait l'emploi d'appareils portatifs qu'il faudrait distribuer à toutes les équipes d'entretien. Ce serait une dépense assez considérable, une complication, et, en outre, l'opération n'étant pas surveillée et ne pouvant l'être, il y aurait toutes chances pour qu'elle se fît imparfaitement.

Il faut ajouter que l'appareil est compliqué et très-sujet à dérangement, et que, même dans un chantier, il est difficile de bien carboniser. La réussite de l'opération dépend de la manière dont l'appareil est conduit. Les charges de charbon doivent être faibles pour éviter l'engorgement de la cornue, le feu doit être piqué souvent ; de cette manière on obtient une flamme claire et ardente qui, seule, carbonise bien le bois. Quand la flamme est fuligineuse, le bois est noirci sans être carbonisé. Les traverses en chêne contenant une certaine quantité d'aubier, il faut que l'aubier soit soumis plus longtemps que le cœur à l'action de la flamme, ce qui exige, de la part de l'ouvrier, un surcroît d'attention et une bonne volonté que l'on rencontre rarement. Il faut, pour obtenir de bons résultats, que la marche de l'opération soit régulière ; mais le mode d'introduction du charbon, sa qualité qui peut être variable, la néces-

sité de piquer le feu à chaque instant sont autant de causes d'irrégularité.

On peut, il est vrai, obvier en partie à ces inconvénients par une grande surveillance, mais une pareille surveillance est bien difficile dans un chantier où fonctionnent à la fois un grand nombre d'appareils et où la manutention se fait à la tâche.

Enfin, en admettant qu'une traverse ait été aussi bien carbonisée que possible, il arrivera nécessairement que, au bout de peu de temps, les pioches à bourrer en auront entamé l'épiderme en bien des endroits et auront ainsi créé autant de points vulnérables.

En résumé, la carbonisation des traverses est une opération d'une efficacité au moins douteuse; elle ne semble pas appelée à remplacer les anciens procédés de préparation.

III. — VOIES ENTIÈREMENT MÉTALLIQUES.

Les rails se détériorent en raison des services qu'ils rendent, mais il n'en est malheureusement pas de même des traverses, qui portent en elles le germe de leur décomposition et qui sont fatalement condamnées à périr après un temps limité. L'activité de la circulation contribue assurément à hâter ce dépérissement, en exigeant des bourrages et des relevages plus fréquents qui déforment les traverses, et en accélèrant la pénétration des coussinets dans le bois et le ballottement des chevillettes. Mais il n'en est pas moins vrai que sur les lignes à très-faible trafic les traverses se détériorent promptement aussi, et qu'on ne peut guère assigner aux meilleures essences une durée supérieure à quinze années.

En même temps que par l'injection dans leur tissu de liquides antiseptiques on essayait de prolonger l'existence des bois tendres, on cherchait une solution plus radicale par la substitution du fer au bois. Les tentatives faites dans ce sens, depuis longtemps déjà, ont donné naissance à une multitude de systèmes qui peuvent être classés en trois catégories:

1° Les voies à supports isolés;
2° Les voies sur traverses métalliques;
3° Les voies à supports longitudinaux.

§ 1. — **Voies à supports isolés.**

Le plus ancien et le plus répandu de ces systèmes, celui de Greave, n'a guère été appliqué en Europe; il s'est acclimaté, au contraire, en Égypte, dans l'Inde, dans les républiques de l'Amérique du Sud, dans les pays, en un mot, où, à cause des conditions climatériques, le bois

mis en terre ne dure que quelques années. Malgré ses inconvénients bien connus, il a rendu, dans ces contrées, de véritables services.

L'exposition anglaise contient deux systèmes de voies à supports en fonte, exposés par l'Economie Permanent Way Company. Le premier, dû à M. Griffin, se compose de demi-cylindres creux fermés aux deux bouts et entretoisés. Ces cylindres ont une largeur de base uniforme de 0m.42, ceux du joint ont 0m.85 de longueur, les autres 0m.70. Les premiers pèsent 34 kilogrammes et les seconds 32 kilogrammes. Le rail appuyé sur une longueur de 0m.70 pèse seulement 26 kilogrammes le mètre.

Ces supports, comme ceux de Greave, pèchent par le manque de base; leur tassement devant être rapide et inégal, il est certain que le rail de 26 kilogrammes doit être beaucoup trop faible pour les lignes à grand trafic.

Ils ont été, néanmoins, essayés par quelques chemins anglais, et ils ont été ou vont être appliqués sur de grandes longueurs par des compagnies de l'Amérique du Sud.

Le système Richardson, désigné par l'inventeur sous le nom de traverse cellulaire, se compose de cloches de 0m.50 de diamètre réunies par deux entretoises en fer à simple T placées dans le même plan horizontal. Ces cloches sont divisées par des cloisons en un grand nombre de cellules. Leur poids est de 38 kilogrammes, celui des entretoises de 9 kilogrammes chacune et celui des rails de 22 kilogrammes seulement. Ce dernier poids est évidemment insuffisant, bien que la longueur d'appui du rail sur chaque cloche soit de 0m.50. Les cloches n'ont pas une assiette suffisante et si l'on n'aperçoit pas à quoi peut servir la division cellulaire, on comprend, au contraire, à merveille, qu'elle doit rendre le bourrage presque impossible. Ce système, dont l'invention est d'ailleurs toute récente, n'a pas encore été appliqué.

§ 2. — Voies sur traverses métalliques.

La substitution du fer au bois dans la confection des traverses a été, jusqu'à présent, bien plus étudiée par les maîtres de forges que par les ingénieurs de chemins de fer. Elle présente, en effet, pour l'industrie métallurgique, un intérêt de premier ordre; car, si un jour le fer devait être employé à l'exclusion du bois, il y aurait sur le Réseau français terminé 1.300 mille tonnes de traverses, et, en assignant à celles-ci une durée de 30 ans, le renouvellement annuel serait de 40 mille tonnes. Il n'est pas nécessaire de faire ressortir l'importance de ces chiffres.

Pour les compagnies l'intérêt n'est pas aussi évident, tant s'en faut. Si nous prenons, en effet, une traverse en chêne du prix de 5 francs et d'une durée de 12 ans, la dépense annuelle résultant de son emploi et de son renouvellement s'établira comme suit :

Intérêt et amortissement du capital de premier établissement $5 \times 0{,}0575 =$ . . . . 0 fr. 287

Renouvellement 5.00

A déduire la valeur de la vieille traverse 0.50

Reste 4.50

L'annuité nécessaire pour reconstituer cette somme de 4 fr. 50 au bout de 12 ans est de. . . . . 0 fr. 283

Total. . . . . 0 fr. 570

Cherchons maintenant quelle devra être la durée d'une traverse en fer, pesant 45 kilogrammes et coûtant 9 fr., pour que la dépense annuelle reste la même.

L'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement est de 9 fr. $\times$ 0.0575. . . . . 0 fr. 517

Le montant de la dépense annuelle étant de. . . . . 0 fr. 570

La différence. . . . . . . 0 fr. 053

représente l'annuité nécessaire pour payer le renouvellement au bout de *n* années. Or, la dépense totale de renouvellement étant égale au prix de la traverse neuve moins le prix de la vieille matière, soit 9 fr. 00 — 45 $\times$ 0 fr. 10 = 4,50, on trouve pour *n* une valeur de 34 années environ. On se demande naturellement si les traverses composées de tôle mince, exposées à la rouille et au maculage produit par les attaches du rail, pourront avoir une durée aussi prolongée : l'expérience, et malheureusement, une expérience de très-longue haleine, poura seule répondre à cette question.

Il y a un élément qui ne peut entrer dans les calculs, et dont il est, cependant, fort important de tenir compte : c'est, à prix égal, l'intérêt manifeste que l'on trouve à prolonger la durée des parties constitutives de la voie et à faire tendre cette durée vers un maximum qui soit à peu près le même pour toutes les parties. On peut dire, en effet, que ces parties se détériorent réciproquement les unes par les autres; ainsi, un rail avarié, écrasé par exemple, peut faire casser un coussinet, et, dans tous les cas, il hâte la pénétration de ce dernier dans la traverse. Le remplacement des rails entraîne la mise au rebut de beaucoup de boulons et de bien des éclisses qui pourraient encore servir longtemps; on sait aussi que des coussinets ou des chevillettes sont cassés ou tordus lors du remplacement des traverses. Il suffit, en un mot, qu'un des éléments importants de la voie se détériore promptement pour que le renouvellement de la voie tout entière soit singulièrement accéléré. Mais, indépendamment des matériaux, la main-d'œuvre de dépose et de repose, qui est considérable, se reproduit plus souvent, le matériel roulant s'use davantage, l'entretien courant est plus dispendieux parce qu'il exige plus de

relevages, la sécurité est moins assurée, surtout sur les lignes à grand trafic, etc., etc. Il en résulte que dans la comparaison que j'ai faite plus haut, il ne serait pas exact de dire que l'emploi des traverses en fer ne serait avantageux qu'au delà d'une durée de 34 ans. Les circonstances que je viens d'énumérer doivent abaisser cette limite dans une proportion notable, mais qu'il n'est pas possible de déterminer.

Les objections que l'on fait aux traverses métalliques ont été prises en grande considération surtout en Angleterre ; car dans ce pays, où le fer, à cause de son bas prix, a remplacé universellement le bois, les traverses métalliques ont à peine donné lieu à quelques essais insignifiants. Il n'en est pas de même en France et en Belgique et l'Exposition de ces deux nations contient de nombreux échantillons de traverses dont quelques-uns sont déjà satisfaisants. Disons de suite que le rail Vignoles se prête beaucoup mieux que le rail à double champignon à l'emploi de ces traverses, le premier pouvant être fixé bien plus facilement et plus simplement que le second.

Les traverses du système Vautherin, exposées par les forges de Franche-Comté, ont attiré particulièrement l'attention. La Compagnie de Paris-Méditerranée a déjà posé 9 kilomètres de voie avec des traverses de ce système, elle en a commandé 20.000 pour les chemins algériens. La Compagnie du Nord en a posé sur cinq kilomètres; celle de l'Est fait également un essai.

Ces traverses ont $0^m.26$ de largeur et $2^m.40$ de longueur ; leur surface d'appui est de $0^m.624$, moindre, par conséquent, que celle des traverses en bois ayant $2^m.65$ de longueur et $0^m.26$ de largeur, laquelle est de $0^m.689$. Il est vrai que toutes les compagnies n'ont pas de traverses en bois de dimensions aussi fortes, mais il est fâcheux, néanmoins, qu'on ne puisse guère employer actuellement les traverses en fer qu'en allant à l'encontre de la tendance bien accusée d'augmenter l'assiette de la voie.

Dans les traverses du Nord et de l'Est le rail repose directement sur la traverse et cette dernière est infléchie pour donner au rail l'inclinaison voulue. La traverse du chemin de fer de Lyon est, au contraire, droite et le rail s'applique sur une cale inclinée ; cette cale a l'avantage de ménager la traverse, mais c'est une pièce de plus et les chances de déraillement seront augmentées d'autant.

M. L. Langlois, de Dreux, a exposé divers types moins satisfaisants que les précédents, sous le rapport de l'assiette de la traverse et des attaches du rail, et surtout, parce que l'inventeur fait intervenir une fourrure en bois pour fixer les crampons. Cette fourrure sera promptement hors de service et son renouvellement entraînera à une dépense de main-d'œuvre presque aussi importante que s'il fallait remplacer la traverse tout entière. Quelques centaines de ces traverses sont en service sur une de nos grandes lignes ; un plus grand nombre a été employé à l'établissement des abattoirs généraux de la Villette.

MM. Harel et Cᵉ, de Vienne (Isère), ont un système de traverses composé de deux plateaux en tôle reliés par une entretoise ; ce système rentre plutôt dans la catégorie des supports indépendants.

Les traverses belges sont nombreuses; MM. Legrand et Salkin, de Mons, ont une série de types spécialement destinés aux voies de charbonnages, minières, sucreries, aux chantiers de terrassement, etc. Ils ont aussi, pour les grandes lignes, un type ne différant guère du système Vautherin que par le mode d'attache des rails. Le Nord français a commandé 6.000 traverses de ce type. Quelques chemins belges vont aussi en faire l'essai.

Les traverses exposées par les hauts-fourneaux de Montigny-sur-Sambre diffèrent peu des systèmes Vautherin et Legrand et Salkin.

La traverse de MM. Jarra et Cᵉ de Liége, présente une section transversale à double ondulation. Le rail repose sur une plaque en fer rivé aux sommets des ondes.

La traverse de Couillet se compose d'un fer à double T posé à plat et de deux tasseaux en bois dur. Des boulons relient en même temps le rail aux tasseaux et au fer à T. Ces traverses essayées depuis 4 ans sur une voie posée entre les charbonnières de Marcinelle et les forges de Couillet paraissent devoir faire un bon service. Mais la cale de bois est évidemment un inconvénient, à moins qu'on ne puisse la faire avec des bois très-durs et durant fort longtemps, analogues à ceux qui croissent aux Antilles et dans l'Amérique Centrale.

§ 3. — **Voies à supports longitudinaux.**

Ce système paraît avoir fait son temps en France et en Angleterre, où la voie Barlow, essayée sur une grande échelle, a dû être bientôt abandonnée. Il est vrai qu'en France surtout, le rail étant trop faible, il ondulait sous le poids des machines et la pression qu'il recevait, au lieu d'être répartie sur une assez grande étendue, était localisée et devenait ainsi énorme, si on la rapportait à l'unité de surface. Aussi le tassement de la voie était-il incessant et la main-d'œuvre exigée pour les relevages fort onéreuse. Le rail *sciait* le ballast, disaient les cantonniers ; et, en effet, dans beaucoup d'endroits on a trouvé sous les rails des prismes de ballast aglutiné dont la hauteur verticale atteignait jusqu'à $1^{m}.50$. Ce ballast était tellement compact qu'on n'a pu le désagréger qu'à l'aide du pic. J'ai rappelé ce fait uniquement pour montrer à quel point il est important que, dans lesvoies à supports longitudinaux, le rail ait une grande résistance.

Ce point de vue a fort préoccupé les Allemands chez lesquels la voie à supports continus, à l'opposé de ce qui s'est passé en France et en Angleterre, semble prendre faveur. Des essais très-sérieux ont lieu depuis quelques années, mais les systèmes sur lesquels ils portent et qui,

d'ailleurs, figurent à l'Exposition, ont été trop complétement décrits par M. Couche, dans son récent traité des chemins de fer, pour qu'il soit utile d'en parler ici. Je me bornerai à dire que tous les systèmes dans lesquels le rail se compose de plusieurs pièces réunies par des boulons ou des rivets, me paraissent condamnés d'avance. Les rivets ou les boulons prendront inévitablement du jeu et exigeront un serrage continuel, le remplacement des pièces usées sera fort difficile, surtout s'il s'agit de refaire une rivure en pleine voie. L'expérience faite sur la voie Barlow est, à ce sujet, pleine d'enseignements qu'il ne faut pas perdre de vue si l'on ne veut se livrer encore à des écoles très-coûteuses.

Les supports métalliques sont donc à l'essai. Si les Anglais les repoussent pour les Réseaux de la métropole, ils les emploient, au contraire, sous forme de cloches ou de cylindres en fonte dans l'Inde et dans l'Amérique du Sud, là où la détérioration des bois mis en terre est imminente au bout de deux à trois ans. En France et en Belgique on donne, jusqu'à présent, la préférence aux voies sur traverses tandis qu'en Allemagne, les supports continus sont, au contraire, en faveur. Ces essais, auxquels l'abaissement du prix du fer a imprimé une activité toute nouvelle, ont un grand intérêt, non-seulement parce que les voies métalliques seront peut-être plus économiques, mais surtout parce que toute prolongation de durée obtenue pour les matériaux ajoute à la facilité de l'entretien : question bien importante, notamment aux abords des grandes capitales où le remplacement d'un rail ou d'une traverse, à certaines heures du jour, est devenu chose presque impossible.

IV. — CHANGEMENTS ET CROISEMENTS DE VOIE.

Il n'y a pas d'appareils qui, plus que les changements de voie, aient donné lieu à autant de recherches, soit pour en perfectionner les dispositions, soit pour améliorer la qualité des matières employées dans leur construction.

Les aiguilles et les rails contre-aiguilles ne se font plus guère aujourd'hui qu'en acier Bessemer, au moins sur les voies très-fréquentées. L'acier fondu et l'acier puddlé, qui étaient précédemment employés, ont été successivement abandonnés, le premier parce qu'il était trop cher, le second parce que la qualité en était par trop variable et la dureté insuffisante.

La Compagnie de Paris-Méditerranée a exposé un changement simple représentant le modèle appliqué depuis 1850 sur toutes les voies de son Réseau, la ligne de Paris à Lyon exceptée. Cet appareil construit dans les ateliers de la Compagnie, à Oullins, est remarquable par la perfection et le fini de l'exécution. Les aiguilles et les contre-aiguilles sont en acier et d'un modèle spécial donnant à la surface de roulement l'inclinaison de

1/20 ; leur poids est de 41 kilogrammes par mètre courant. Les couvre-tringles sont en fer laminé, provenant des forges de Fraisans (Doubs). L'appareil pèse 1505 kilogrammes et a coûté 798 fr., non compris le châssis en bois dont le cube est de 1^{m}.397.

Les croisements de voie sont en une pièce ou en plusieurs pièces ; ces deux types, qui ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients propres, continuent à être employés concurremment par les chemins de fer français et étrangers. Le croisement d'une seule pièce, dont la plus grande stabilité est incontestable, et qui présente aussi plus de sécurité, paraît cependant gagner du terrain.

L'Exposition offre 21 spécimens de ces appareils :

6 en fonte durcie (Boigues-Rambourg, France ; Neher fils, Suisse ; Konigsburnn, Wurtemberg; Gauz-Bude, Autriche ; fonderie d'Utrecht, Pays-Bas ; Gruson, Buckau-Magdeburg).

6 en acier fondu (Coutant, Petin et Gaudet, Sireuil, France ; Bacoting, Angleterre ; Bochune, Westphalie ; Dochlen, Saxe).

7 en acier Bessemer (Compagnie de l'Est, la pointe fixe est en fer forgé, cémenté et trempé ; Boigues-Rambourg, de Dietrich, Imphy-Saint-Seurin, France; Wender-Eht, Belgique ; Hoerde, Westphalie ; chemin de fer du sud de l'Autriche).

1 en acier puddlé (Compagnie de Paris-Méditerranée, France).

1 en fer cémenté (Leseigneur, France).

Les croisements en fonte durcie, employés depuis longtemps en Allemagne, semblent prendre faveur en France. Toutes les fontes ne se prêtent pas à la confection de ces appareils et il est fort difficile de les mouler parfaitement droits ; aussi parmi les usines qui ont tenté cette fabrication, y en a t-il très-peu qui l'aient réussie. Les croisements paraissent devoir faire un très-bon service lorsque leur surface est dure et que le passage de la fonte blanche à la fonte grise se fait graduellement, et non suivant une ligne de démarcation bien tranchée.

Les croisements en acier fondu font un bon service quand l'acier a été martelé ou laminé, mais les croisements qui sont simplement coulés, comme ceux à double face dont MM. Varall, Elwell et Poulot ont le brevet en France, ont l'inconvénient d'être souffleux et ils s'égrènent assez rapidement.

Le croisement d'une seule pièce, exposé par la société d'Imphy-Saint-Seurin, représente le dernier type adopté par la Compagnie de l'Ouest. Il offre cette particularité que le profil transversal du croisement est obtenu à la machine à raboter et que, après un certain temps de service, le croisement détérioré est raboté de nouveau et peut être remis en place ; une cale placée sous l'appareil rachète la hauteur enlevée au second rabotage. Il est à craindre que ces appareils manquent de dureté, parce que,

pour être amenés, par le martelage, à la forme voulue, les lingots subissent plusieurs chaudes qui ne peuvent qu'altérer la qualité de l'acier.

Terminons par la comparaison des prix de quelques croisements de voie :

Croisement en acier Bessemer, à double face, non martelé (brevet Varrall, Elwell et Poulot). . . . . 395 fr.

Croisement en acier Bessemer, martelé à simple face, dernier type de l'Ouest. . . . . 380 fr.

Croisement type Paris-Méditerranée, avec cœur en acier puddlé et rails patte de lièvre en acier fondu, non compris les rails ordinaires. . . . . 525 fr.

Croisement en fonte durcie, provenant de la fabrique Gruson à Buckau - Magdeburg. . . . . 305 fr.

Croisement en fonte durcie, du même poids que le précédent, fabriqué en première fusion à Beaulac, près Bazas (Gironde). . 240 fr.

V. — PLAQUES TOURNANTES.

Il n'y a rien de particulièrement intéressant à signaler dans l'Exposition des plaques tournantes. Tous les types exposés sont connus. La plaque pour wagons, de l'Ouest, entièrement en fonte, est parfaitement étudiée et peut être prise pour modèle. La plaque de la Compagnie du Midi a, au contraire, la partie mobile entièrement en fer; les longerons et le cercle de roulement sont des fers double T de 0m.20 de hauteur. La plaque est, par conséquent, beaucoup plus solide que les plaques du même système, employées précédemment par d'autres compagnies.

Les plaques en fer présentent plus de sécurité que les plaques en fonte, mais elles ont l'inconvénient grave de se dériver à la longue. Elles seront, probablement, de moins en moins employées.

La Compagnie de Paris-Méditerranée a exposé une fort belle plaque de 12 mètres de diamètre, destinée spécialement aux remises circulaires de machines. Très-soigneusement construite, avec des matériaux de choix, cette plaque ne pèse pas moins de 43000 kilogrammes ; elle doit coûter fort cher.

VI. — CLOTURES ET BARRIÈRES.

La Compagnie de l'Est a exposé un type de clôture dont les piquets sont faits avec de vieilles traverses. Je n'en connais pas le prix; mais le débitage des piquets doit être assez cher, et il doit y avoir beaucoup de

faux frais pour choisir les traverses susceptibles d'être transformées en piquets et les transporter jusqu'au lieu de débitage.

La Compagnie du Midi emploie depuis dix ans une clôture courante composée de piquets en chêne ou châtaignier plantés de deux mètres en deux mètres, sur lesquels s'appuient 4 cours de fil de fer de 4 millimètres de diamètre, retenu par des crampons à deux pointes. Cette clôture ne coûte pas plus de 0f.65 par mètre courant, pose comprise et, quand la haie vive est venue, on peut donner une autre destination au fil de fer. C'est un système évidemment économique.

La haie fruitière dont MM. Tricotel et Ce ont exposé un spécimen a été, jusqu'à présent, posée par diverses compagnies françaises et belges sur une longueur totale de 360 kilomètres. Cette haie devenant promptement défensive, on peut, sans inconvénient, la garantir provisoirement à l'aide d'une clôture sèche moins solide, composée seulement de piquets plantés de trois en trois mètres et de trois cours de fil de 3 millimètres de diamètre ; de cette manière on peut faire sur la clôture sèche une économie représentant presque le prix de la haie vive. Si on ajoute que la haie doit être productive au bout de peu d'années, on reconnaîtra que le système de MM. Tricotel et Ce paraît avantageux. On peut se demander, cependant, et c'est là une objection sérieuse, s'il sera possible de garantir les feuilles des arbres contre les animaux et les fruits contre les maraudeurs.

Deux barrières, entièrement métalliques, ont été exposées : l'une pivotante appartient à la Compagnie de l'Est ; l'autre roulante, à la Compagnie du Midi. Les barrières roulantes en fer sont évidemment un progrès sur les barrières en bois, surtout sur le système pivotant, mais elles coûtent un peu cher. Le type de l'Est est bien meilleur marché que celui du Midi, mais il est léger et on peut craindre qu'il ne se disloque assez promptement.

VII. — APPAREILS DE PESAGE ET DE LEVAGE.

MM. Vivaux et Ce ont exposé trois grues, dont la plus remarquable, construite sur un dessin de la Compagnie de l'Est, est une grue à pivot fixe de 6.000 kilogrammes, dite *sans fondations*. La partie du pivot qui, dans les grues ordinaires, pénètre dans le sol, est remplacée par un croisillon en fonte de 3m.20 de diamètre, ayant 8 bras d'une section en forme de double T. Ce croisillon est fermé extérieurement par une couronne de même section que les bras. Des plaques en fonte appuyées sur les nervures inférieures des double T forment, de chacun des triangles du croisillon, une caisse que l'on remplit de terre bien pilonnée. La grue repose ainsi sur une base très-lourde et de grande surface. Mais comme cette

base ne serait pas suffisante pour établir l'équilibre de la grue sous charge, on a ajouté sur le côté opposé à la flèche un contre-poids en fonte reposant sur deux bras également en fonte, fixés par de forts boulons au bâtis de la grue.

Ce type de grue, qui peut être employée partout où l'on dispose d'un espace suffisant pour permettre au contrepoids de faire sa révolution, se recommande par les avantages suivants : suppression presque complète des fondations; pose et dépose très-faciles, économie sensible, puisque le prix d'une grue posée ne dépasse pas 4.500 fr.

Dans la section anglaise se trouve un treuil de M. Weston, l'inventeur du palan différentiel, disposé de manière que les manivelles puissent être immobilisées quand la charge descend. C'est là une excellente disposition qui a été, d'ailleurs, appliquée à quelques grues et qui mériterait d'être généralisée.

La balancerie française, pour chemin de fer, est représentée notamment par les ponts à bascule de

MM. Louis Sagnier et Ce ;
Farcot et Ce;
Catenot-Béranger ;
Orcel et Ce.

A l'exception de l'appareil de M. Sagnier, tous les autres donnent la portée totale au moyen d'une double romaine, sans poids additionnels. Cette disposition, qui est, sans doute, présentée comme un perfectionnement, est mauvaise ; car, tout le monde sait que plus un appareil de pesage s'éloigne de la balance ordinaire et moins il y a de chances pour qu'il soit exact.

M. Catenot-Béranger a eu l'idée de supprimer les fondations en maçonnerie et, à cet effet, il a établi son pont à bascule dans un cuvelage en fonte. Le seul avantage de ce cuvelage est de pouvoir être posé et déposé à volonté ; mais il a l'inconvénient d'être cher, de rendre les visites du mécanisme difficiles, à cause de son peu de hauteur, et de manquer de base.

Dans la section autrichienne se trouve un pont à bascule, qui ne diffère des types français, qu'en ce que le levier communicateur est triangulaire au lieu d'être droit. Il est probable qu'on a voulu ainsi rendre ce levier plus stable ; mais je n'ai jamais constaté dans les leviers des ponts français une tendance marquée au déversement.

La section des États-Unis contient un pont très-bas, avec châssis en bois, pouvant être posé et déposé facilement ; mais la visite et l'entretien du mécanisme doivent être fort difficiles.

VIII. — SIGNAUX.

Les signaux ont été l'objet d'améliorations constantes jusque dans leurs moindres détails ; les transmissions, notamment, qui en constituent la partie la plus délicate, ont été successivement perfectionnées, et les compagnies n'ont pas hésité à faire des sacrifices relativement considérables pour appliquer à leurs appareils les derniers progrès réalisés. Ces progrès sont tels, que les disques manœuvrent aujourd'hui très-bien, avec des longueurs de transmission qui approchent quelquefois de 2 kilomètres.

L'exposition française de signaux fixes est une des plus complètes ; mais ces signaux sont si bien décrits et discutés dans l'ouvrage de M. Brame, qu'il serait oiseux de les examiner de nouveau avec quelques détails. Bornons-nous à rappeler que, au point de vue de la manœuvre, les disques peuvent être divisés en deux catégories, suivant qu'ils sont à deux fils ou à un seul fil.

Le disque à deux fils est incontestablement celui qui manœuvre le mieux quand il est bien réglé, mais il a l'inconvénient très-grave de ne pas garantir la sécurité en cas de rupture d'un des fils. Malgré cet inconvénient, ce disque est exclusivement employé par la Compagnie d'Orléans, qui apporte, d'ailleurs, dans son installation, un soin remarquable.

Le disque à un fil, avec contrepoids compensateur et de rappel, est employé par toutes les autres compagnies. A une seule exception près, il est disposé partout pour que, en cas de rupture du fil, la voie soit fermée ; l'exception a été faite par la Compagnie de Paris-Méditerranée qui a adopté la disposition inverse, parce que le disque à un fil s'ouvre mieux quand le fil est sollicité par le levier de manœuvre, sur lequel on peut exercer un effort énergique et croissant, jusqu'à une certaine limite, avec la résistance que l'on rencontre. Cette raison ne semble pas suffisante pour justifier le sacrifice du plus grand avantage que présente le disque à un fil.

L'ingénieuse disposition imaginée il y a quinze ans par M. Vignier, ingénieur de la 1re division de l'entretien au chemin de fer de l'Ouest, pour rendre solidaires les aiguilles et les disques signaux, a reçu une des plus hautes récompenses que pouvait décerner le Jury. Cette disposition a été généralisée par la Compagnie de l'Ouest où 92 aiguilles et 264 signaux sont actuellement rendus solidaires dans leur manœuvre. Le même système est appliqué par la Compagnie du Midi à toutes ses bifurcations et par les Compagnies du Nord et de Lyon.

L'Angleterre s'est emparée de l'idée, mais elle l'a appliquée différemment. Plusieurs modèles se trouvent à l'Exposition : celui de MM. Saxby

et Farmer, aussi remarquable par le mécanisme que par le fini de l'exécution, représente la disposition adoptée à la station de Cannon-Street, à Londres. Le mouvement est tel dans cette station qu'au moment de la plus grande fréquentation diurne, il n'y a pas moins de 18 trains arrivant par heure et autant qui partent. A chaque arrivée ou départ il y a deux manœuvres de locomotives, si bien que le nombre total de manœuvres d'aiguilles et de signaux est de 108 par heure, ce qui fait une opération toutes les 33 secondes.

Les disques et les aiguilles, au nombre de 67, sont rendus solidaires entre eux, et tous les leviers sont disposés dans une grande guérite vitrée, comme on en voit beaucoup sur les lignes anglaises, ayant 15 mètres de longueur sur 1m.80 de large.

Chaque levier est numéroté, et, sur le plancher, à côté de lui, est une plaque de cuivre sur laquelle sont gravés son nom et sa destination. Des couleurs différentes et très-vives distinguent les leviers par groupes: ainsi les leviers qui commandent les aiguilles sont noirs, ceux des signaux d'arrivée sont rouges, ceux des signaux de départ sont bleus, et, enfin, ceux des signaux à distance sont jaunes.

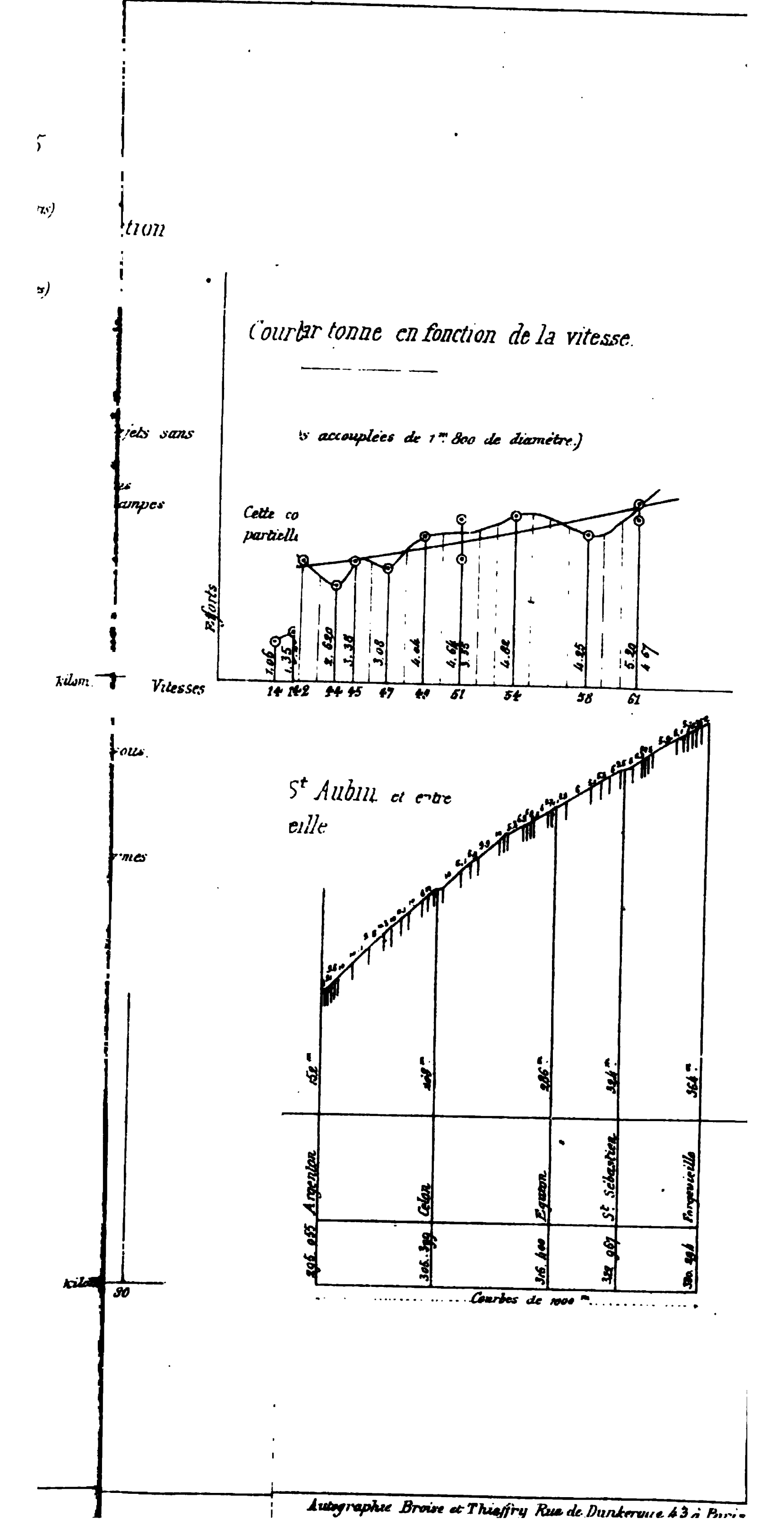
Le mouvement est transmis à chaque disque par un seul fil à dilatation compensée. La transmission aux aiguilles se fait au moyen de fortes tringles en fer creux qui ont jusqu'à 80 mètres et qui sont toutes en deux parties réunies en leur milieu par un petit balancier : de cette manière, les deux moitiés se dilatent en sens contraire et n'exercent aucune fatigue sur leurs points d'attache extrêmes.

Dans la guérite se trouvent installés, pendant le jour, deux hommes et deux gamins, et, pendant la nuit, un homme et un gamin. Les hommes sont chargés de la manœuvre des leviers. Les gamins sont assis aux deux extrémités les plus éloignées de la guérite en face de deux postes télégraphiques : l'un est chargé de la réception et de la transmission des dépêches de toutes sortes pour le service général de l'exploitation ; l'autre lit sur un cadran les noms des trains arrivant ou partant et les annonce à haute voix. C'est d'après les indications de ce gamin que les leviers sont manœuvrés.

Ce système pourrait sans doute être appliqué en France, dans les grandes gares, mais je crois que la disposition imaginée par M. Vignier et qui permet aussi les transmissions à grandes distances répond à tous les besoins.

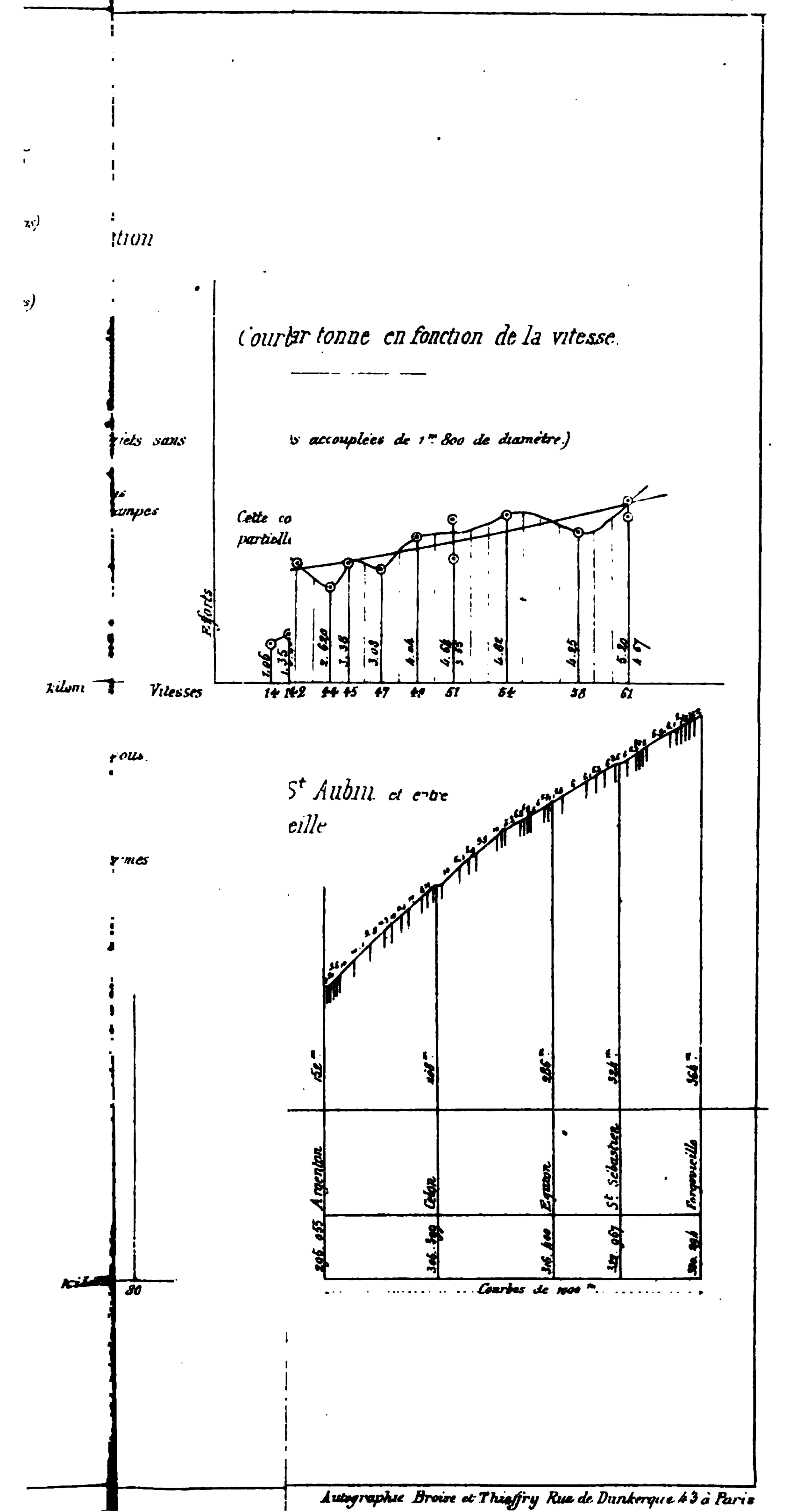
IX. — RÉSUMÉ.

Grâce aux améliorations successivement réalisées, le matériel fixe des chemins de fer est arrivé à un degré, certes, bien éloigné encore de la perfection, mais qui limite singulièrement le champ des recherches. Les changements de voie, les plaques tournantes, les signaux, les appareils



Autographie Broise et Thieffry Rue de Dunkerque 43 à Paris

Paris. — Imprimerie P.-A. Bourdier, Capiomont et Cie, 6, rue des Poitevins.



Autographie Broise et Thieffry Rue de Dunkerque 43 à Paris

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1868)

N° 3

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Ensilage des blés*, par M. Coignet (séance du 31 juillet, page 415).

2° *Chemins de fer d'intérêt local* (séance du 3 juillet, page 415).

3° *Machine à perforer les roches*, par M. Fellot (séance du 3 juillet, page 416).

4° *Fabrication des rails par le procédé Bessemer*, par M. Sandberg (séance du 3 juillet, page 419).

5° *Chemin de fer d'Arvant à Murat*, par M. Nordling (séance du 17 juillet, page 424).

6° *Traction par moteurs autres que par les animaux sur les routes ordinaires*, par M. Burel (séance du 17 juillet, page 424).

7° *Production économique de l'oxygène*, par M. Maldant (séance du 17 juillet, page 425).

8° *Causes de désordre auxquelles sont soumises les boussoles de navires en fer et sur les modifications à apporter dans la construction des coques*, par M. Arson (séance du 21 août, page 436).

9° *Mensuration industrielle des corps gazeux*, par M. Ball (séance du 21 août, page 442).

10° *Matériel roulant* (rapport des 20 et 21° sections sur le), à l'Exposition universelle (séance des 4 et 18 septembre, pages 444 et 450).

11° *Exploitation du Semmering*, par M. Desgrange (séance du 4 septembre, page 447).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Pichault, membre de la Société, une notice sur la *Navigation aérienne.*

2° De MM. Eugène Flachat et Noisette, membres de la Société, une note sur l'*Application de l'asphalte coulée sur les planchers des magasins et greniers, pour empêcher la propagation de l'incendie.*

3° De M. Louis-Jules Michel, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire d'une notice sur le *Trafic probable des chemins de fer d'intérêt local.*

4° De M. Delonchaut, membre de la Société, une note sur la *Construction et l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local.*

5° De M. Regnard, membre de la Société, une note sur les *Chemins de fer économiques de la Belgique.*

6° De M. Lefèvre, membre de la Société, un mémoire sur le *Battage des pieux à la vapeur et par étage.*

7° De M. Despret, membre de la Société, un exemplaire du *Compte rendu de l'exercice* 1867 *du chemin de fer du Grand-Central belge.*

8° De M. Berger, ingénieur, un exemplaire de l'*Album de la fabrique.*

9° De M. Cottrau, membre de la Société, un exemplaire de son *Album des dessins d'exécution et des métrés de* 36 *ponts métalliques des chemins de fer méridionaux italiens.*

10° De M. Loisel, membre de la Société, un exemplaire des dix-sept premières feuilles de l'*Annuaire des chemins de fer belges pour* 1866-67, *parues jusqu'à ce jour.*

11° De M. Jules Morandière, membre de la Société, une note sur les *Chemins de fer industriels de Champs-Clauzon, Portes et Petite Rosselle, destinés à relier les mines de charbon à de grands chemins de fer.*

12° De M. Mayer, membre de la Société, président de la vingtième section, les *Documents réunis par cette section pendant l'Exposition, sur le matériel roulant des chemins de fer.*

13° De M. Vuillemin, membre de la Société, président de la vingt et unième section, les *Documents réunis par cette section pendant l'Exposition, sur le matériel de traction des chemins de fer.*

14° De M. J. Rothschild, éditeur, un exemplaire d'une brochure sur l'*Élagage des arbres,* par M. le Comte Des Cars.

15° De M. Burel, membre de la Société, une note sur la *Traction des moteurs autres que les animaux sur les routes ordinaires.*

16° De MM. Javal et Jules Garnier, membres de la Société, un exemplaire d'une brochure sur les *Machines à percer, couper et abattre les roches.*

17° De M. E. Bignami, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée : *J. Canali netta citta di Milano.*

18° De M. Nordling, membre de la Société, 1° un exemplaire du *Compte rendu statistique de la construction de la section d'Arvant à Murat;* 2° un exemplaire du *Compte rendu statistique provisoire de la construction de la section de Murat à Vic-sur-Cer;* 3° un exemplaire du *Compte rendu statistique de la construction de la ligne de Montluçon à Limoges et de l'embranchement d'Aubusson à Fournaux.*

19° De M. Nozo, membre de la Société, une *Note sur les produits à base d'ardoise comprimée pour pavages et dallages des voies publiques des grands édifices et des propriétés particulières.*

20° Les premier et deuxième numéros du *Bulletin de la Société des ingénieurs et architectes de Milan.*

21° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur la *Marine à vapeur commerciale.*

22° De M. A. Guiter, membre de la Société, un exemplaire de ses *Lettres et notices sur l'isthme de Suez.*

23° De M. Cazalis de Fondouce, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur ses *Recherches sur la géologie de l'Égypte, d'après les travaux les plus récents, notamment ceux de M. Figari-Bey et le canal maritime de Suez.*

24° De M. Cottrau, membre de la Société, un exemplaire du *Rapport du Conseil d'administration de la Société italienne du chemin de fer méridional.*

25° De M. Hauchecorne, un exemplaire des *Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Europe.*

26° De M. Gottschalk, membre de la Société, *les Profils en long des chemins de fer norvégiens de Hamar à Grundseth, de Drammen au golfe de Bandsfjord et de Trondhjem à Storen, ainsi que d'un tableau donnant les résultats principaux de la construction et de l'exploitation de ces chemins de fer.*

27° De M. Chauveau des Roches, membre de la Société, un exemplaire d'un *Mémoire sur le chemin de fer d'intérêt local de la Ferté-sous-Jouarre à Montmirail.*

28° De M. O'Brien, membre de la Société, la traduction d'un article du journal anglais *le Times, Sur les nouveaux quais de la ville de Londres.*

29° De M. Georges Tardieu, membre de la Société, une note sur les *Systèmes de signaux employés en Angleterre pour les bifurcations et gares de chemin de fer.*

30° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de sa *Revue géologique des années* 1865 *et* 1866.

31° Du *Bulletin de la Société industrielle de Reims*, les numéros du premier semestre 1868.

32° De la *Revue horticole*, les numéros du troisième trimestre 1868.

33° De la *Gazette du Village*, les numéros du troisième trimestre 1868.

34° Du bulletin de la *Revue périodique* de la *Société des ingénieurs autrichiens*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

35° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros 3, 4 et 5 de 1868.

36° Du bulletin de la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, le numéro du quatrième trimestre 1867.

37° Le tome IV des *Mémoires de la Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube.*

38° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du troisième trimestre 1868.

39° De la *Revue d'architecture*, les numéros 3 et 4 de l'année 1868.

40° De la revue *les Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1868.

41° Du journal *The Engineer*, les numéros du troisième trimestre 1868.

42° Du bulletin de la *Société d'encouragement*, les numéros du troisième trimestre 1868.

43° Du bulletin de la *Société de géographie*, les numéros du troisième trimestre 1868.

44° Du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture*, le numéro d'avril 1868.

45° Du journal *l'Invention*, les numéros du troisième trimestre 1868.

46° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du troisième trimestre 1868.

47° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du troisième trimestre 1868.

48° De la *Revue contemporaine*, les numéros du troisième trimestre 1868.

49° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du troisième trimestre 1868.

50° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du troisième trimestre 1868.

51° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du troisième trimestre 1868.

52° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du troisième trimestre 1868.

53° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du troisième trimestre 1868.

54° Du journal *le Cosmos*, les numéros du troisième trimestre 1868.

55° Du *Génie industriel*, les numéros du troisième trimestre 1868.

56° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du troisième trimestre 1868.

57° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du deuxième trimestre 1868.

58° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du troisième trimestre 1868.

59° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du troisième trimestre 1868.

60° Du *Propagateur des travaux en fer*, le numéro du troisième trimestre 1868.

61° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du troisième trimestre 1868.

62° De la *Propagation industrielle*, le numéro de juillet 1868.

63° Du journal *Engineering*, lés numéros du troisième trimestre 1868.

64° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de mai, juin, juillet et août 1868.

65° Du *Comité des forges de France*, les numéros 40 et 41 du bulletin.

66° Du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros de juin et juillet 1868.

67° Du bulletin de l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du deuxième trimestre de 1868.

Les Membres admis pendant le troisième trimestre sont :

Au mois de juillet :

MM. Bertheault, présenté par MM. Demanest, Hamoir et Richard.
Bunel, présenté par MM. André, Bobin et Elwell.
Charton, présenté par MM. Eiffel, Roques et Tronquoy.
Gouilly, présenté par MM. Jouanne, Thirion et Weil.
Guébin, présenté par MM. Flaud, Legavriand et Mathieu.
Guisan, présenté par MM. Bergeron, Guillemin et Sambuc.
Haass, présenté par MM. Flachat, Loustau et Petiet.
Krupp, présenté par MM. Flachat, Loustau et Petiet.
Marlier, présenté par MM. André, Robin et Petiet.
Parlier, présenté par MM. Callon, Lissignol et Petiet.
Poulin, présenté par MM. Debonnefoy, Michelant et Salesse.
Scheidecker, présenté par MM. Callon, Muller et Nordling.
Simon (Edouard), présenté par MM. Alcan, Limet et Tresca.
Smitz, présenté par MM. André, Bobin et Mauguin.
Thibault, présenté par MM. Desgrange, Flachat et Mayer.
Thomas (Léon), présenté par MM. Aboilard, Nozo et Petiet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1868

Séance du 3 Juillet 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 19 juin est adopté.

M. le Président annonce qu'il a reçu une lettre de M. Coignet revenant sur la question de priorité relative à l'emploi d'un courant d'air chaud renversé pour la dessiccation du blé, système que M. Rouyer avait dit avoir été essayé par M. Doyère puis abandonné; ce que conteste M. Coignet. Dans sa réponse à cette lettre qui lui a été communiquée, M. Rouyer maintient ses assertions en faisant observer qu'il n'attache d'ailleurs au procédé dont il s'agit aucune importance, et qu'il lui reste, dans tous les cas, à recevoir une sanction pratique. M. le Président exprime l'opinion que la Société n'a pas à s'immiscer dans un débat tendant à établir la priorité d'une invention, et pour ce motif il croit devoir s'en tenir à cette simple mention des deux lettres, lesquelles seront déposées aux archives, où les personnes qui le désireraient pourront en prendre plus ample connaissance.

M. Saint-James a adressé à M. le Président une lettre dans laquelle, appréciant la discussion qui a eu lieu sur les chemins de fer d'intérêt local, il croit pouvoir conclure et être d'accord en cela avec le plus grand nombre des membres de la Société : qu'il n'y a pas lieu de faire dans aucune circonstance usage du chemin de fer à petite voie ; la lettre est très-longue et revient sur des arguments déjà produits. Elle sera jointe au dossier où chacun pourra la retrouver. Mais M. le Président croit devoir faire remarquer que M. Saint-James s'est trompé, à son avis, sur le sentiment de la Société. Le chemin de fer à petite voie n'a nullement été considéré comme un instrument inutile en dehors des applications qui peuvent en être faites aux mines et aux usines. La conclusion que l'on peut tirer de l'ensemble de la discussion et que l'on pouvait prévoir au début, c'est que l'instrument peut être proportionné aux services qu'il est appelé à rendre ; qu'entre quatre mille francs et cent mille francs de recette par kilomètre, et suivant les circonstances, il y a place pour des chemins de

fer de dimensions variées et qu'aucun esprit pratique n'en peut rejeter aucun *à priori*. M. le Président croit qu'au point où cette question a été amenée, il serait désirable qu'un membre qui aurait quelques loisirs voulût bien la reprendre. En se servant des communications faites et des discussions qui les ont suivies, et coordonnant le tout, il y aurait moyen d'écrire sur ce sujet une excellente brochure qui ferait honneur à celui qui l'aurait entreprise et menée à bonne fin, et rendrait de grands services.

M. Fellot demande la parole pour répondre à quelques observations présentées dans la dernière séance, par MM. Tresca, Laurent et Maldant, sur la machine à perforer les roches, du capitaine Penrice.

MM. Tresca et Maldant ont reproché à la machine d'agir sur toute la section de la galerie en pulvérisant la roche. Ce reproche n'est pas fondé : la disposition du trépan, formé de lignes concentriques de couteaux taillés en biseau, et étagés en gradins qui vont en retrait du centre à la circonférence, a précisément pour but d'éviter cette action inutile et dispendieuse, en déterminant des éclats dont l'importance dépend à la fois de l'intervalle libre laissé entre les lignes successives de couteaux, de l'angle suivant lequel ces couteaux sont forgés et de la tendance plus ou moins grande de la roche à se fissurer. Si la roche est facilement fissurable, l'intervalle devra être plus grand et l'angle des couteaux ouvert ; cet intervalle et cet angle devront diminuer dans le cas contraire. L'écartement des couteaux et l'angle tranchant les plus avantageux, pour une roche déterminée, sont ceux qui donnent les plus grands éclats pour une même pénétration des arêtes tranchantes. Cette pénétration, qui représente seule la quantité de roche plus ou moins pulvérisée, devra être la plus faible possible, et à ce point de vue, l'angle doit avoir une grande influence en agissant à la façon d'un coin pour le départ des éclats. Tous les essais faits jusqu'à ce jour, soit sur le calcaire coquillier de Vaugirard, soit en Angleterre sur des grès durs, justifient cette manière d'envisager le mode d'action du nouveau perforateur. Il suffit, du reste, de l'avoir vu marcher pour être convaincu qu'il opère en étonnant et désagrégeant la roche par morceaux.

Nous ne pouvons accepter l'opinion de M. Maldant sur la nécessité où l'on serait, dans l'exploitation du granit, de changer la disposition des tranchants de manière à obtenir la pulvérisation réelle et complète. Cette roche a une tendance évidente à se fissurer; la manière de la travailler à la main en est une preuve suffisante. Naturellement il faudra se contenter d'éclats réduits et rapprocher les lignes de couteaux jusqu'à un intervalle qui sera peut-être de 30 millimètres au lieu de 56 millimètres, cote du trépan actuel; mais, même dans ce cas, on n'attaquera encore que la trentième partie de la surface totale.

La machine de MM. les capitaines Beaumont et Locock, dont a parlé M. Tresca, a tous les inconvénients qui s'attachent à l'emploi de la poudre; son action n'est pas continue, le fleuret central et les 50 ciseaux qui garnissent le pourtour de son disque, pulvérisent une plus grande quantité de matière que celle qui correspond aux pénétrations successives des couteaux de la machine Penrice, pour un même avancement; l'anneau de roche, que la mine centrale doit désagréger, ne se détache jamais complétement; de là la nécessité, après chaque explosion, d'appliquer sur la face d'attaque un travail à la main assez important; enfin l'enlèvement de débris volumineux à travers la machine et ses organes, qui remplissent toute la galerie, reste pour nous un problème insoluble.

M. Tresca, partant de cette idée, que le nouveau perforateur pulvérise la roche

sur toute la surface attaquée, a fondé une objection sur l'excès de puissance nécessaire à sa marche et par suite sur son emploi peu économique.

Pour apprécier l'importance de cette objection, comparons le travail de la machine, dans les conditions où elle fonctionne à Vaugirard, à celui qu'exige, dans le système Sommeiller au mont Cenis, la marche des 8 percusseurs chargés de l'attaque de la galerie d'avancement. Dans la communication faite précédemment par nous à la Société, nous avions supposé une pression nominale de 4 atmosphères, une vitesse de 400 coups par minute et une course de 0m,05, et ces conditions sont à peu près celles qui convenaient à l'ancien trépan, pesant 2500 kil. Mais le trépan actuel pèse 4 tonnes, et avec une pression de 5 atmosphères, nous n'avons pu obtenir que 320 coups par minute, à une course moyenne de 0m,025. Les chiffres donnés se modifient donc ainsi qu'il suit :

Force d'impulsion exercée sur le piston percusseur		11,290 kilog.
Puissance vive, ou travail proportionnel au choc		14 kgm.8
Travail total résultant de l'action du fluide moteur dans les deux cylindres		29 chev.
Emploi de la vapeur	Volume de vapeur nécessaire par seconde, augmenté de 25 p. 100	0mc.084.
	Poids nécessaire par heure	780 kilog.
	Surface de chauffe de la chaudière, environ	39 m²
Emploi de l'air comprimé	Volume d'air comprimé à 5 atmosphères par seconde, augmenté de 5 p. 100	0mc.071.
	Travail utile nécessaire pour la compression du volume d'air libre correspondant	78ch.7.
	Travail moteur, à raison d'un coefficient de 0,70	112ch.4.

Au mont Cenis :

Volume d'air comprimé à 6 atmosphères nécessaire par seconde, à la marche de 8 percusseurs	0mc.025.
Travail utile nécessaire pour la compression du volume d'air libre correspondant	37 chev.
Travail moteur à raison d'un coefficient de 0,70	53 chev.

Le perforateur Penrice, marchant à l'air comprimé dans les conditions de pression, de vitesse et de course appliquées aux essais de Vaugirard, exigerait donc une puissance motrice double environ de celle nécessaire à la marche des 8 percusseurs de M. Sommeiller. Mais il ne faut pas oublier que l'emploi de la poudre oblige à une ventilation énergique et conduit à augmenter considérablement la quantité d'air comprimé, et, par suite, la puissance motrice nécessaires, dès que la profondeur de la galerie dépasse 800 à 1000 mètres. Dans ces conditions, la dépense de premier établissement ne serait donc pas beaucoup plus élevée avec le nouveau perforateur. Les dépenses d'exploitation paraissent, au contraire, devoir être notablement réduites. En effet, d'un côté, une machine massive solide que rien n'empêche de faire plus solide encore et partant plus durable, marchant d'une manière continue,

n'ayant besoin, pour sa conduite, que d'un mécanicien et d'un ou deux manœuvres pour l'enlèvement des débris, et pour son entretien, que de réparations analogues à celles ordinaires dans les machines à vapeur : remplacement des segments de piston, rattrapage des jeux, façons de garniture; et, pour le trépan, remplacement des couteaux émoussés par d'autres frais tenus en approvisionnement. De l'autre côté : une action intermittente, un personnel considérable, des machines légères, délicates, déployant proportionnellement une action plus énergique sur un fleuret long et mince, qui ne peut en transmettre qu'une faible partie et se trouve rapidement détérioré, un entretien permanent et tellement considérable que les ateliers de réparation, ont, suivant l'expression même de M. Tresca, pris la proportion des ateliers d'un chemin de fer important. Ajoutons que, dans le premier système, on gagne toute la dépense d'achat de la poudre de mine.

Il n'est donc pas démontré que l'emploi du nouveau perforateur sera plus coûteux que le système d'exploitation par la poudre. Le prix de revient du mètre courant de galerie n'est d'ailleurs, dans ce genre de travaux, qu'un côté accessoire de la question; car il y a une condition qui prime toutes les autres : c'est la vitesse d'avancement. Il y aura presque toujours un intérêt plus grand à faire 10 mètres par jour, chaque mètre dût-il coûter un prix élevé qu'à n'en faire qu'un à un prix dix fois moindre.

La question, à notre avis, est donc moins de discuter sur un prix de revient difficile à évaluer que d'examiner le mode d'action de ce perforateur et les titres qu'il peut avoir à une marche rapide. Voici à ce sujet les résultats qu'il a donnés dans le calcaire coquillier de Vaugirard :

La durée des essais de chaque jour a été de 5, 6, 9 et 15 minutes; les avancements obtenus, rapportés à l'heure, ont constamment progressé, à mesure que les galets approchaient du parement de la carrière, depuis 0m,75 jusqu'à 2m,00 mètres, et même 2m,64 (essai du 1er juillet). La machine est aujourd'hui entrée dans la galerie qu'elle s'est ouverte, les galets y ont trouvé un appui plus ferme, les coups sont devenus plus pleins, les trépidations de la machine ont diminué, et l'ébranlement qui, à l'origine, s'étendait au loin sur la face de la carrière, a à peu près disparu. Les tranchants, après 3m,50 d'avancement, ne présentent aucune trace d'altération, et nous espérons pouvoir maintenir la vitesse d'avancement au chiffre moyen de 2 mètres à l'heure.

M. Fellot informe la Société que le gouvernement ayant nommé une commission chargée de suivre les essais de cette machine, la durée de ces essais se trouve prolongée jusqu'au 8 juillet; il invite les membres désireux d'y assister à profiter de ce nouveau délai.

M. Flachat a vu fonctionner la machine du capitaine Penrice; il lui paraît qu'il n'y a aucune espèce de comparaison à établir entre le mode d'action de cette machine et celui des burins à mine. Le piston-trépan de la machine du capitaine Penrice a une inertie considérable, d'où résulte pour les chocs une très-grande intensité; ces chocs violents divisent la roche en fragments assez gros. L'avancement avait lieu à raison de 1m,65 par heure lors de sa visite.

La machine en elle-même semble très-simple et bien coordonnée. Les chocs multipliés n'ont sur l'affût qui porte le piston aucune réaction qui tende à le disloquer. Elle est d'un transport et d'une pose facile. Le trépan ne subit pas la vibration que son diamètre pouvait faire redouter; enfin il y a lieu de croire que l'usure des dents ou des couteaux du trépan est sensiblement égale sur la surface de l'outil, et que

c'est en partie à cela qu'il faut attribuer le peu d'altération qu'il subit. Il est vrai que la roche dans laquelle il travaille est tendre. Sa dureté est celle du moellon franc, dont l'écrasement se produit aux environs de 40 à 60 kilogrammes par centimètre carré.

M. le Président donne la parole au secrétaire pour la lecture du mémoire de M. Sandberg, membre de la Société, relatif à l'emploi comparatif des rails ordinaires, des rails mixtes et des rails en acier Bessemer.

Cette communication ayant été faite à la Société des ingénieurs de Londres, nous n'en donnons qu'un résumé.

M. Sandberg, en présence de l'intérêt croissant qu'offre la recherche de la meilleure utilisation des rails, donne communication à la Société des résultats des observations qu'il a eu l'occasion de faire en s'occupant de la réception des rails pour la Suède, la Norwége et le Danemark.

D'essais comparatifs, faits sur le North-Western railway, à la station très-fréquentée de Camden-Town, sur des rails provenant de cinq espèces de paquets, avec couvertes laminées ou martelées, et sans couvertes, on est arrivé à ce résultat que, pour la nature de fer employé, provenant du sud du pays de Galles, les rails à couvertes laminées se comportaient mieux que ceux à couvertes martelées.

La mise hors de service d'un rail provient plutôt de l'écrasement, résultat d'une soudure imparfaite, que d'une usure réelle.

D'autres expériences faites par le Great-Northern railway confirment cette règle empirique, posée par M. R. Price Williams, que le service des rails peut être estimé proportionnel au produit de la charge totale des trains supportés par la vitesse moyenne, soit pour les rails essayés au Great-Northern railway, 276 millions de tonnes à 1 mille par heure.

Les rails essayés à Cambden-Town, dans des circonstances exceptionnelles, subissant des garages continuels de convois et par suite un usage répété des freins, n'auraient comparativement résisté qu'au passage de 120 millions de tonnes à la même vitesse de 1 mille à l'heure.

Aucune règle absolue ne peut être posée quant au meilleur procédé à employer pour la fabrication, les conditions varient suivant les districts métallurgiques; mais pour les rails en fer du pays de Galles, l'emploi du marteau doit être abandonné; peut-être faut-il attribuer les mauvais résultats que donne le martelage à la présence du soufre en proportion notable, car on a martelé avec avantage des fers contenant moins de soufre et plus de phosphore, comme ceux de Cleveland et de quelques usines belges et françaises, qui ont pu fabriquer des rails en fer puddlé sans ballage.

L'éloignement des usines aux voies ferrées des colonies anglaises, à certaines voies de la Méditerranée ou de la Baltique, a conduit à chercher à tirer parti sur place des rails usés. L'acier tend à se substituer au fer dans la fabrication des rails, soit pour le rail entier, soit pour la couverte seulement. On a fait des paquets mixtes avec un corps en vieux rails et la couverte en acier. Si un tel procédé était importé en Suède, on économiserait le double fret, estimé à 50 francs la tonne, du transport en Angleterre des rails de rebut entrant dans la composition de rails neufs. Au retour de ceux-ci, la dépense en charbon pour la transformation serait de 12 fr. 50 par tonne, en Suède. L'intérêt à réaliser cette économie de 37 fr. 50 est subordonné à l'importance des frais de fabrication, variables suivant la

production annuelle. Il y aurait pour la Suède un intérêt majeur à s'affranchir de l'Angleterre pour cette transformation.

Les chemins anglais du North-Western et du Great-Western transforment leurs vieux rails, en les faisant entrer dans des paquets à couverte d'acier Bessemer. Il n'en est pas ainsi en Belgique et en Prusse, ni en France, sauf pour la Compagnie d'Orléans. Les chemins de fer de l'État autrichien font cette transformation dans leurs ateliers à Gratz, et les chemins russes dans une usine modifiée dans ce but spécial par une Compagnie privée.

L'étude sur le choix des matières à employer le plus avantageusement à la fabrication des rails pour la Suède a fait reconnaître que les rails Bessemer coûtant 325 francs la tonne, ainsi que ceux en acier puddlé de Suède, qui valent 300 francs, sont trop chers pour avoir l'avantage sur les rails ordinaires, quand bien même ils devraient avoir une durée double. Les plus avantageux pour la Suède sont les rails à couverte d'acier, valant 250 francs la tonne, qui l'emportent sur ceux du pays de Galles, en fer, au prix de 200 francs.

En comparant, suivant la durée de la voie, les annuités des sommes qui représentent son renouvellement en rails de telle ou telle nature, on détermine facilement à quelle matière il convient de donner la préférence; cela dépend évidemment du trafic : là où les rails en fer dureraient quinze ans, ils sont les plus avantageux; là où ils ne dureraient que cinq à dix ans, il convient de donner la préférence aux rails à couverte d'acier; pour une durée de moins de huit ans, l'avantage serait aux rails tout en acier. Des expériences prolongées ont été faites en Suède sur les diverses matières employées à la fabrication des rails; elles accusent une relation entre la teneur en carbone et la résistance. L'acier le plus carburé, le plus dur et le moins ductile est celui qui a la plus grande solidité absolue. On aurait observé aussi que, contrairement à ce qu'on admet généralement, la résistance augmente quand la température baisse. La contradiction apparente entre ce fait et celui des ruptures de rails, plus fréquentes en hiver qu'en été, doit être attribuée à la diminution de l'élasticité des traverses par le froid.

L'auteur termine en disant qu'après avoir suivi le développement de la méthode Bessemer en Angleterre et sur le continent, il croit que la qualité des matières premières influe autant que dans tout autre procédé sur la qualité du produit.

M. E. Flachat demande à M. Sandberg comment on est parvenu à obtenir une bonne soudure entre le fer et l'acier dans les rails mixtes dont il a parlé.

M. Sandberg fait observer que dans la composition des paquets pour ces rails on a interposé entre le fer n° 2 ou les vieux rails, formant le corps du paquet, et la couverte en acier, une épaisseur de fer n° 1, qui se soude mieux à l'acier. Il faut aussi que l'acier soit très-doux, à peu près comme le fer, pour résister à une bonne chauffe. On a constaté, dans les produits fabriqués d'abord, des séparations entre le fer et l'acier, mais on les évite maintenant grâce à l'habitude que les ouvriers ont prise et au soin apporté dans la chauffe. En Angleterre, ces rails ne sont adoptés que là où on a un grand trafic, mais seulement de faibles vitesses.

M. E. Flachat demande à quelle cause M. Sandberg attribue les mauvais résultats du martelage dans les cas qu'il a cités.

M. Sandberg les attribue à la présence du soufre, qui fait du fer rouverain et s'écrasant sous la pression du marteau; mais, avec du fer pur comme celui de la Suède, M. Sandberg préférera toujours l'emploi du marteau au laminage pour obtenir une bonne soudure.

M. le Président demande si M. Sandberg a pris note de la charge maxima des essieux de machines dans ses observations.

M. Sandberg n'a pas de données précises à ce sujet; il fait seulement observer qu'à Cambden-Town les machines qui pèsent 30 tonnes sont trop lourdes pour le rail, qui est fait pour des machines de 26 tonnes environ.

M. le Président observe que la charge maxima des essieux doit avoir une influence sur la durée des rails, influence dont il n'est pas tenu compte dans le calcul de M. Sandberg, de sorte que la formule qu'il a donnée ne serait pas applicable pour un matériel de traction différent de celui qu'il a observé.

M. Sandberg dit que le poids des machines est uniformément réparti sur les essieux en Angleterre, ce qui n'a pas lieu en France; ces expériences n'ont été faites qu'en Angleterre.

M. Mayer demande comment M. Sandberg est arrivé à la règle très-simple qu'il donne pour calculer la durée d'un rail proportionnellement à la charge et à la vitesse.

M. Sandberg reconnaît que cette règle empirique demande à être confirmée par des expériences faites sur une échelle plus considérable.

M. Flachat demande quelle durée M. Sandberg attribue aux rails dans un rayon de 50 milles autour de Londres.

M. Sandberg évalue cette durée à cinq ans, parce que dans ces dernières années on a fait pour ces parties très-fatiguées des voies des rails supérieurs aux rails ordinaires.

M. Flachat demande à M. Sandberg s'il juge les rails français de qualité supérieure aux rails anglais.

M. Sandberg répond que la différence est considérable. Il a eu occasion de recevoir pour l'État suédois des rails au Creusot, et il n'hésite pas à affirmer qu'ils sont infiniment meilleurs que ceux qu'il a reçus en Angleterre. Ces rails ont été payés avec une prime.

M. Flachat demande si, dans le calcul des annuités, M. Sandberg ne tient compte que des rails, sans faire mention des accessoires de la voie.

M. Sandberg n'a tenu compte que des rails, mais il reconnaît l'importance des autres matériaux. Ainsi la durée des traverses a une influence notable sur l'intérêt qu'il peut y avoir à remplacer les rails en fer par des rails en acier. La différence entre les prix des rails en fer et en acier tient aux droits de brevet, qui n'ont plus, du reste, que peu de temps à courir, et à la plus grande valeur des fontes employées; le coût de la fabrication, le déchet, etc., sont les mêmes pour les rails en acier que pour ceux en fer. Le prix des rails en acier ira donc en se rapprochant de plus en plus de celui des rails en fer.

M. Flachat demande quels sont les minerais employés en Angleterre pour la fabrication de l'acier Bessemer.

M. Sandberg dit que ce sont des minerais anglais du Cumberland, du Lancashire, des hématites qui donnent une fonte très-pure; mais pour les bandages et les essieux, on emploie moitié de fonte de Suède.

M. Ivan Flachat demande si cependant on ne tire pas de Prusse la fonte dite Spiegeleisen.

M. Sandberg répond affirmativement.

M. Flachat demande quelques développements sur les résultats consignés dans

les tableaux de M. Sandberg sur l'élasticité et la ténacité des rails des diverses fabrications.

M. Sandberg fait observer que l'augmentation de la proportion de carbone a pour effet de diminuer l'élasticité.

Les quatre espèces de fer de Low-Moor, fer Bessemer suédois, fer affiné suédois et fer puddlé suédois, présentant une pureté presque identique, offrent aussi la même élasticité.

Il ne faut pas croire que le procédé Bessemer, ainsi qu'on l'avait dit autrefois, soit capable de donner de meilleurs résultats que tous les autres procédés avec des matières premières de qualité inférieure.

M. Ivan Flachat demande si en Angleterre on fait de l'acier Bessemer avec des fontes tirées directement du creuset des hauts-fourneaux.

M. Sandberg répond que cela ne se fait nulle part en Angleterre, mais qu'on pratique ce procédé en Suède avantageusement, avec des fontes au bois il est vrai. En Angleterre, la seconde fusion s'effectue toujours au four à réverbère; à Sheffield, on a commencé à employer le four Cassale, avec du coke. On a essayé à prendre la fonte directement des hauts-fourneaux à Barraw et à Vigan, mais sans succès.

M. Ivan Flachat demande si en Angleterre le but de la seconde fusion n'est pas d'opérer des mélanges, et quels ils sont.

M. Sandberg répond que toutes les fontes sont analysées, et ensuite mélangées en proportions convenables, mais qu'il est impossible de fixer à cet égard des données précises.

M. Ivan Flachat demande si M. Sandberg pense qu'on corrige l'une par l'autre des fontes siliceuses et des fontes phosphoreuses ou sulfurées.

M. Sandberg dit que telle n'est pas sa pensée, mais que les mélanges permettent de répartir les éléments étrangers des fontes de la manière la plus favorable. Le procédé Martin est à l'essai en Angleterre; il s'appliquerait à l'emploi des vieux rails, même si les rails mixtes étaient adoptés : le procédé n'est autre qu'à la période d'essai en Angleterre, mais il est à la connaissance de M. Sandberg que plusieurs usines se proposent de l'employer.

M. le Président fait oberver que la formule donnée par M. Sandberg pour hausser la durée probable d'un rail dans un chemin de fer quelconque ne lui paraît pas applicable par le motif que dans ses expériences dans la station de Camden-Town, l'auteur n'a pas relevé le poids des machines locomotives et celui des essieux les plus chargés, ce poids étant l'élément principal dans l'effet destructeur du passage des trains sur les rails, aurait dû être noté avec soin.

M. Vuillemin ajoute que cela lui paraît d'autant plus indispensable que les tonnes de marchandises en Angleterre marchent relativement à de plus grandes vitesses, les machines sont très-sensiblement différentes de celles employées en France où le poids sur les essieux moteurs dépasse souvent 12 tonnes.

M. le Président remercie M. Sandberg de son intéressante communication. Il regrette qu'il ne puisse assister à la discussion plus approfondie à laquelle elle pourra donner lieu lorsque les membres présents auront pu en lire le compte rendu imprimé qui en sera donné. Ce compte rendu sera dans tous les cas envoyé à M. Sandberg, et il espère que notre confrère voudra bien envoyer par écrit sa réponse aux observations qui ont été ou qui pourraient être faites ultérieurement.

M. Sandberg promet de donner à la Société, par lettres, tous les renseignements

complémentaires qui pourraient lui être demandés après qu'il aura été pris connaissance de son mémoire.

M. le Président donne communication de l'avancement des travaux de l'Isthme de Suez à la date du 15 mai, que M. Ferdinand de Lesseps a adressé à la Société.

Cube total à extraire..................	74,112,130^{mc}
Cube total extrait du 15 avril au 15 mai..	1,812,555
Cube total extrait précédemment........	39,593,897
Cube total extrait à ce jour.............	41,406,452
Cube restant à extraire..................	32,705,678
Nombre de dragues en marche...........	58
Nombre de dragues à mettre en fonction.	2
Nombre de terrassiers..................	8,853

Jetées de Port-Saïd.

	Jetée Ouest.	Jetée Est.
Longueur actuelle..................	2,500^{m}	1,800^{m}
Fond atteint......................	8^{m},20	5^{m},50
Cube total de blocs à immerger......	250,000^{mc}	
Cube de blocs immergé dans le mois.	5,131^{mc}	1,448^{mc}
Cube immergé précédemment.......	145,326	46,792
Cube total de blocs immergé.......	150,457	48,240
Cube restant à immerger..........	51,303^{mc}	

MM. Guisan, Smitz, Simon et Thomas ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 17 Juillet 1868.

Présidence de M. Vuillemin, *vice-président*.

Le procès-verbal de la séance du 3 juillet est adopté :

M. le Président donne communication d'une lettre de M. Jules Morandière, qui adresse une note sur les trois chemins de fer industriels de Champs-Clauzon, Portes et Petite-Rosselle, destinés à relier des mines de charbon à de grands chemins de fer. Ces notes prises en 1859 et 1860, dans un voyage rapide fait par M. Morandière, ne renferment aucun renseignement sur les dépenses de construction ou d'exploitation : il espère que des membres de la Société pourront compléter ces notes.

M. le Président ajoute que depuis que ces renseignements ont été recueillis, le chemin de l'usine Wendel a pris une plus grande extension : il transporte maintenant 200,000 tonnes de houille par an.

M. le Président annonce à la Société qu'il a reçu de M. Mayer, président de la 20ᵉ section (matériel roulant), *voitures et wagons* à l'Exposition, un dossier très-volumineux, renfermant des documents fort intéressants sur cette question.

M. Vuillemin, comme président de la 21e section, dépose également sur le bureau le dossier de cette section, relatif au matériel de traction, machines locomotives à l'Exposition.

Ces dossiers sont accompagnés de rapports qui seront communiqués dans une prochaine séance ; en attendant, les documents réunis par les soins de ces deux sections seront déposés à la bibliothèque, à la disposition des membres de la Société.

M. Nordling dépose sur le bureau un compte rendu statistique de la construction de la ligne d'Arvant à Murat, et un compte rendu provisoire de la section de Murat à Aurillac, dont l'ouverture est fixée au 20 juillet. Cette ligne du Cantal complète l'une des lignes de Bordeaux à Lyon.

M. Nordling entre dans quelques détails sur la construction de cette ligne, qui traverse un pays très-accidenté. Ce chemin part de la vallée de l'Alagnon à la cote 425m.50, arrive au Lioran à 1152 mètres, pour redescendre à Aurillac à 631m.50.

Cette altitude est assez considérable, comparée aux autres traversées de montagnes.

Semmering....................	893 mètres.
Les Apennins..................	613 —
Brenner.......................	1367 —

Le chemin a été établi en pente de 30 millimètres, régnant sur 8300 mètres sur le versant nord et sur 16,000 mètres sur le versant sud.

M. Nordling ajoute que cette ligne est à une seule voie en rail d'acier, revenant à 37f,60 le mètre courant.

Le prix moyen du kilomètre, non compris le matériel roulant, a été de :

Pour Arvant-Massiac (23 kilom.)......	371,000 fr. par kilomètre.
Massiac-Murat (35 —)......	297,000
Murat-Vic (31 —)......	461,000
Arvant-Vic (89 —)......	374,000

Tandis qu'il paraît avoir été de :

Pour la traversée du Brenner.........	600,000 fr. par kilom.
Pour la ligne de Bologne à Pistoye....	1,000,000
Pour la ligne du Semmering.........	1,500,000

M. Nordling dépose aussi sur le bureau le compte rendu définitif pour la ligne de Montluçon à Limoges ouverte en 1864.

M. le Président remercie M. Nordling de sa communication, et ajoute que ces divers documents seront placés dans la bibliothèque de la Société.

M. le Président donne la parole à M. Burel, pour la lecture de sa communication sur la traction par moteurs autres que les animaux sur les routes ordinaires.

M. Burel entre d'abord dans des considérations générales sur le rôle que peuvent jouer, dans l'industrie des transports, les machines que l'on classe maintenant sous la dénomination de locomotives routières.

Après bien des tentatives malheureuses, ce problème a été réalisé récemment, mais d'une manière incomplète, par un assez grand nombre de constructeurs.

M. Burel croit que le rôle de ces machines consiste à se substituer aux chemins de fer pour l'exploitation des chemins devant constituer le cinquième réseau, mais pour lesquels le revenu probable serait même trop faible pour payer l'intérêt du capital de premier établissement.

M. Burel fait remarquer qu'en employant la locomotive routière, le petit capital engagé pourra produire immédiatement des bénéfices, tandis qu'avec les chemins

de fer il faut faire entrer en ligne de compte l'intérêt du capital engagé pendant la construction.

M. Burel ajoute que dans l'état actuel de la question il ne veut parler que du transport des marchandises à faible vitesse, 8 à 10 kilomètres au maximum.

M. Burel compare ensuite le travail des chevaux au travail d'une machine routière.

Dans le premier cas, la condition du meilleur rendement est de diviser la charge en diminuant le nombre des colliers, tandis que dans le deuxième cas, la division de la charge n'est plus nécessaire.

M. Burel termine sa communication en décrivant en détail une machine locomotive routière, étudiée par lui et par M. Michel de Bergue.

Dans cette machine, on a cherché à éviter tous les défauts signalés dans les machines précédemment produites et à réaliser les meilleures dispositions pour obtenir les changements de vitesse : l'action simultanée ou indépendante des roues motrices déterminée automatiquement, malgré leur liaison intime avec le moteur ; la bonne direction ; des perfectionnements importants dans la machine et dans la chaudière, etc.

Cette machine n'est encore qu'à l'état de projet. M. Burel en dépose plusieurs dessins sur le bureau, et ajoute qu'il espère pouvoir montrer, dans quelque temps, aux membres de la Société que la question intéresse, la réalisation du projet dont il vient de donner un aperçu.

M. Brull, en attendant la discussion qui pourra s'ouvrir dans une prochaine séance sur la communication de M. Burel, désire faire observer de suite que les conclusions du mémoire, en ce qui concerne les tentatives antérieures, lui paraissent trop exclusives.

Il est peut-être fâcheux, dans une question aussi difficile et encore aussi peu avancée, de chercher à poser au début des principes absolus.

M. Brull demande, par exemple, à faire toute réserve pour le système breveté par M. Giffard, membre de la Société, et qui consiste dans l'emploi de deux machines indépendantes actionnant deux roues folles sur un même essieu. Il semble qu'on ne puisse réaliser d'une façon plus complète l'indépendance des deux roues. Il faudrait réserver aussi l'invention de M. Castagnet, mécanicien à Lyon, qui n'emploie qu'une seule roue motrice placée à l'avant et portant la plus forte partie du poids du moteur. Il paraît y avoir dans ces deux systèmes des principes aussi sains et aussi fertiles que ceux que M. Burel a présentés comme les seuls susceptibles de conduire au succès.

M. Gaudry demande si les saillies des roues, que l'on a proposées à diverses reprises, ne sont pas nécessaires pour obtenir l'adhérence.

M. Morandière répond que, dans certaines expériences, l'addition de saillies aux roues a été nécessaire pour démarrer sur des rampes de 5 centimètres couvertes de verglas.

M. Burel répond qu'avec des roues de 37 centimètres de largeur les glissements ne sont pas à craindre; ces roues fonctionnent alors comme de véritables rouleaux compresseurs.

M. le Président remercie M. Burel de sa communication et donne la parole à M. Maldant, pour la lecture de sa note sur la production économique de l'oxygène.

M. Maldant fait remarquer que parmi les grandes découvertes, parmi les pro-

cédés ingénieux que l'Exposition universelle a réunis sous nos yeux, et qui ont donné, et donnent encore tant d'aliments à nos méditations, il s'en est trouvé quelques-uns qui, installés tardivement, dans des endroits peu accessibles, ont été à peine remarqués du public.

Au nombre de ces découvertes, dit-il, se trouve celle dont je me promets de vous entretenir aujourd'hui, et qui, un peu éclipsée par les circonstances que je viens d'énumérer, ne vous a pas encore été signalée dans les rapports spéciaux que vous avez entendus.

Sur une des berges de la Seine, derrière le laboratoire de chimie, dans un endroit presque inaccessible, on avait, en effet, pour ainsi dire caché un petit four et un gazomètre dans lesquels on avait réalisé, d'une manière remarquable, l'un des plus grands problèmes de tous les temps : la production économique et industrielle de l'*oxygène*.

La Commission impériale a su reconnaître le mérite de cette exhibition, presque inaperçue du public; et elle lui a décerné l'une de ses plus hautes *récompenses*.

Il s'agit des procédés de MM. Tessié du Motay, et Maréchal (de Metz); et de l'application de ces procédés à l'*éclairage*.

L'oxygène est un des éléments les plus répandus de la nature : il forme presque le quart du poids de l'air, et les 4/5 de celui de l'eau; enfin il entre, pour une proportion considérable, dans la composition des animaux, des végétaux, et, en général, de presque tous les corps que nous connaissons.

Pourtant, et malgré cette profusion, il a été jusqu'ici difficile et coûteux d'éliminer l'oxygène de ses diverses combinaisons, et de l'obtenir à l'état *pur*, facilement et économiquement.

Il n'entre pas dans le cadre de cette communication de m'occuper des divers procédés de laboratoire au moyen desquels on peut obtenir l'oxygène; je veux me borner à décrire rapidement le système de MM. Tessié du Motay et Maréchal, qui me semble, au moment actuel, celui qui résout le plus complétement le problème de la production industrielle de l'oxygène.

Je rappellerai seulement, comme simple indication, que c'est presque toujours à l'air ou à l'eau que les savants ont cherché à emprunter l'oxygène *à bon marché* : c'est aussi à cette première source que se sont adressés MM. Tessié du Motay et Maréchal comme l'avaient fait avant eux, mais avec moins de succès, Lavoisier, Boussingault, Sainte-Claire-Deville et Debray, Archereau, etc.

Le procédé de MM. Tessié du Motay et Maréchal est fort simple; il consiste tout entier dans l'application intelligente d'un principe, c'est que :

1° Les manganates et les permanganates alcalins, chauffés à la température du rouge sombre environ et soumis, en cet état, à un courant de vapeur, abandonnent une partie de leur oxygène, pour passer à l'état de sesquioxyde de manganèse et de potasse ou de soude hydratées.

2° Que le mélange *ainsi formé* de sesquioxyde de manganèse et de base alcaline, a la propriété, lorsqu'il est soumis à l'action d'un courant d'air et au rouge naissant, de se réoxyder en *reproduisant* les manganates primitifs.

Ce principe expliqué, l'application se comprendra très-aisément :

Pour produire l'oxygène, on place du manganate de potasse ou de soude dans des cornues disposées dans un four, à peu près comme celles qui produisent le gaz d'éclairage ordinaire; on chauffe ces cornues, et, lorsque la température est

convenable, on introduit dans les cornues un jet de vapeur qui s'échappe, par l'extrémité opposée, avec l'oxygène mis en liberté. Il suffit alors de faire passer ce mélange dans un serpentin entouré d'eau froide, où la vapeur se condense, et l'oxygène seul se rend au gazomètre où il est emmagasiné.

Quand cette première partie de l'opération est terminée, ce qui est indiqué par l'arrêt de l'ascension de la cloche du gazomètre, ou mieux par un compteur ou un appareil spécial, un simple jeu de robineterie modifie l'arrivée et la sortie, et l'air surchauffé remplace la vapeur dans les cornues.

Alors la réoxydation s'opère; le manganate, qui avait été décomposé, se reconstitue; et l'opération primitive peut être bientôt recommencée, pour porter au gazomètre la nouvelle quantité d'oxygène qui vient d'être empruntée à l'air.

La production de l'oxygène se continue ainsi régulièrement par une succession non interrompue d'actions alternatives.

Le nombre plus ou moins grand d'opérations, auxquelles la matière employée peut se prêter, dépend surtout de l'absence d'acide carbonique dans l'air injecté dans les cornues; car cet acide carbonique formant, à la longue, avec la soude ou la potasse, des carbonates, nuirait à l'opération.

MM. Tessié du Motay et Maréchal paralysent cet inconvénient en n'introduisant dans les cornues que de l'air qui a traversé de la chaux ou toute autre substance absorbant l'acide carbonique. De cette façon la durée de la matière employée semble presque indéfinie.

Une fois l'oxygène obtenu économiquement, MM. Tessié du Motay et Maréchal devaient naturellement chercher à utiliser leur découverte dans les diverses branches des sciences et de l'industrie où elle semblait devoir apporter les plus notables améliorations.

C'est ainsi qu'ils ont été conduits à l'appliquer à l'*éclairage*.

Disons-le tout de suite, MM. Tessié du Motay et Maréchal se sont ainsi adressés tout d'abord à l'industrie qui semble présenter les plus sérieuses difficultés d'application : ils ont pris, comme on dit familièrement, *le taureau par les cornes*.

Pour ma part, je ne doute pas que les inventeurs n'obtiennent des résultats plus rapides et plus faciles dans leurs applications aux sciences, à la médecine, à la métallurgie, au blanchiment, etc.

Mais enfin, puisqu'ils ont été conduits à s'occuper des applications à l'éclairage, c'est uniquement de cette application spéciale que je me propose de vous entretenir aujourd'hui.

Depuis les modestes essais tentés à l'Exposition, cette application de l'oxygène a eu le privilége de faire beaucoup parler d'elle, et les essais d'éclairage public, sur la place de l'Hôtel de Ville, ont, notamment, attiré sur elle l'attention générale.

Bien des polémiques se sont déjà engagées, à son sujet, dans les journaux; des approbations et des oppositions se sont produites : quelques-unes avec un sentiment manifestement sympathique ou hostile, d'autres avec des arguments positifs et sérieux.

L'impression générale qui a paru résulter de cette polémique un peu hâtive, c'est que ce nouvel *éclairage oxhydrique*, s'il devait réussir, apporterait ou la ruine, ou au moins un trouble considérable dans les entreprises actuelles d'éclairage par le gaz.

Sans vouloir préjuger encore la question de *réussite définitive*, je crois que cette opinion extrême est, pour le moins, très-exagérée, sinon tout à fait inexacte.

Les grands et respectables intérêts engagés dans l'industrie de l'éclairage au gaz n'ont rien à redouter du progrès : c'est le progrès qu'ils représentent eux-mêmes à l'heure actuelle, et si des améliorations réelles doivent résulter de la lumière oxhydrique, ils sauront se les approprier et en tirer avantage.

Les hommes éminents qui dirigent les sociétés gazières savent mieux que personne, qu'à l'époque où nous vivons, ceux qui repoussent systématiquement les progrès réels, sont vite laissés en arrière.

Ne nous préoccupons donc pas de ce côté de la question, et revenons aux expériences de l'Hôtel de Ville et aux conséquences qu'elles peuvent avoir sur l'industrie de l'éclairage.

Après les constatations faites à l'Exposition, M. le baron Hausmann, préfet de la Seine, reconnaissant qu'il y avait là une grande question d'intérêt général, donna aux inventeurs l'autorisation de faire des expériences d'éclairage public sur la place de l'Hôtel de Ville.

Grâce à cette haute bienveillance, les inventeurs ont établi, dans une des caves de l'annexe de l'Hôtel de Ville, un four à 5 cornues, 2 gazomètres, un générateur de vapeur, un ventilateur et les appareils accessoires qui leur étaient nécessaires.

L'importance plus grande de cette installation, faite pourtant peut-être un peu trop à la hâte, a eu pour effet d'abaisser à 75 ou 80 centimes environ le prix de revient du mètre cube d'oxygène, qui revenait à un peu plus d'*un franc* au laboratoire de l'Exposition.

— Pour appliquer l'oxygène à l'éclairage, les inventeurs sont partis de ce principe rationnel et connu, qu'aucun gaz ne donne, en brûlant, de *lumière propre*, et qu'il ne peut devenir lumineux, qu'autant que la haute température développée par sa combustion est utilisée à chauffer des *corps* ou des *particules solides* qui projettent ensuite la lumière par leur *rayonnement*.

C'est ainsi, du reste, que se produit la lumière actuelle du gaz d'éclairage, et chacun sait que si on brûlait, à l'air ou dans l'oxygène, de l'hydrogène *pur*, malgré l'énorme température développée par cette combustion, la lumière produite serait nulle, ou à peu près; tandis qu'en introduisant dans l'hydrogène des particules de charbon très-divisé, comme cela a eu lieu dans le gaz d'éclairage, la lumière se produit; et elle se produit dans des conditions d'*autant meilleures* que la *proportion* entre la partie solide à chauffer et la température développée par la combustion a été *mieux établie*.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que si l'*insuffisance* de matière solide nuit à la lumière produite, en n'utilisant pas toute la chaleur de la combustion, la surabondance de cette même matière lui nuit également en exigeant, pour devenir lumineuse, une température supérieure à celle que la combustion peut lui donner : dans le premier cas, la flamme est *inerte*, dans le second elle est *fuligineuse*.

On conçoit également que si, au lieu de brûler l'hydrogène dans l'air, on le brûle dans l'oxygène, ou avec l'oxygène, la température de la combustion devenant beaucoup plus considérable, la proportion de matière solide peut augmenter considérablement, au profit de la puissance lumineuse.

Dans les divers essais auxquels ils se sont livrés à cet égard, les inventeurs paraissent avoir abandonné les flammes rendues directement lumineuses par les particules solides qu'elles contiennent, à cause de la grande difficulté de *dosage* de ces particules; et ils ont donné la préférence au système, déjà anciennement connu,

qui consiste à brûler les gaz au contact d'*un corps solide* et fixe, dans les proportions de pureté et de mélange capables de développer leur plus haute température.

C'est, en d'autres termes, l'espèce de lumière qui est connue dans la science et que nous avons vu produire dans des laboratoires, sous diverses dénominations et notamment sous le nom de *lumière de Drummond*, que MM. Tessié du Motay et Maréchal ont cherché, et cherchent encore à rendre industrielle et *pratique*.

Avant de quitter ce sujet, et pour bien fixer les idées, rappelons encore que les diverses lumières que nous produisons sont beaucoup moins différentes les unes des autres en réalité qu'en apparence; ainsi, dans *tous nos systèmes* d'éclairage, c'est toujours du gaz qui brûle au contact d'un corps solide, aussi bien avec la chandelle, la bougie et la lampe, qu'avec le gaz ordinaire et la lumière de Drummond ou ses dérivées.

Je n'ai pas l'intention d'entrer dans la discussion détaillée des appareils qui ont été employés pour les expériences de l'Hôtel de Ville; car ces appareils ont été, pour les inventeurs eux-mêmes, des instruments d'essais, de tâtonnements, et il n'est pas douteux que les nouvelles applications qui se préparent en ce moment ne donnent des résultats plus complets et des avantages plus considérables.

Il pourra y avoir lieu de revenir, un peu plus tard, sur la description de ces appareils que je vous demande la permission d'énumérer seulement aujourd'hui :

L'oxygène sortant des gazomètres était conduit aux brûleurs en passant par un régulateur qui rendait sa pression constante; le gaz d'éclairage ordinaire s'y rendait aussi, de son côté, en passant par un autre régulateur et par des conduits différents. Les deux gaz ne se mélangeaient qu'à la sortie des brûleurs, et leur combustion se produisait directement sur un crayon de magnésie qui devenait incandescent sous l'action de la haute température produite. C'est ce crayon qui rayonnait la vive et belle lumière que nous avons tous pu aller admirer.

A quel prix est produite cette lumière?
Quelle est sa puissance exacte?
Quels avantages et quels inconvénients pourrait amener son adoption?

C'est ce que je me propose d'examiner rapidement, pour terminer cette première, et forcément un peu superficielle, communication.

Quel est le prix de revient de la lumière oxhydrique? Je ne crois pas qu'il soit possible aujourd'hui de répondre encore d'une manière précise à cette question.

J'ai bien été à même de constater que la quantité d'oxygène, produite dans les caves de l'Hôtel de Ville, était de 20 à 25 mètres cubes par jour, tant pour l'éclairage du soir que pour les besoins des expériences de la journée; j'ai pu voir que les frais de personnel strictement nécessaires à cette production pouvaient être abaissés à 8 francs environ, et ceux du combustible et matières nécessaires portés à peu près à la même somme; ce qui, avec une petite part réservée à l'amortissement et aux frais généraux, explique *à peu près* le prix de revient précédemment indiqué de 75 à 80 centimes le mètre cube; mais je ne donne ces chiffres que comme une indication générale très-discutable.

Il est certain, en effet, qu'il est facile et peut-être légitime de déclarer ce prix de revient plus bas que le prix *vrai*, si on considère que les frais d'installation ont été relativement considérables, les expériences de courte durée, l'entretien et les frais généraux exceptionnellement élevés.

Il est certain aussi qu'il est permis et peut-être légitime aux inventeurs de déclarer ce prix trop haut, eu égard aux améliorations que l'expérience leur a indiquées, et qu'ils n'ont pas encore eu le temps d'appliquer publiquement.

Ne prenons donc, quant à présent, l'indication sommaire du prix de 75 à 80 centimes le mètre cube, que comme une indication discutable, mais *approximative* dans l'état des choses au moment des essais de l'Hôtel de Ville.

Je ne dois pas quitter toutefois cette question du *prix de revient* sans indiquer, au moins, deux des plus essentielles modifications projetées, qui pourraient, en réussissant industriellement, entraîner une amélioration *considérable*.

Pendant les expériences de l'Hôtel de Ville, j'avais remarqué, comme les inventeurs l'avaient reconnu eux-mêmes, que la masse de manganate placée à forte épaisseur dans les cornues, ne fonctionnait pour ainsi dire qu'à *sa surface ;* c'est-à-dire que la masse, n'étant pas bien pénétrée par l'air ou la vapeur, ne participait pas à la transformation chimique, et était ainsi chauffée en pure perte, et inutilement pour la production de l'oxygène.

L'inspection de la masse, à l'ouverture des cornues, ne pouvait laisser de doute à cet égard.

L'usine nouvelle et plus importante qui se construit, en ce moment, à Pantin, aux portes de Paris, aura des cornues spécialement disposées pour obtenir une grande division de la matière et multiplier, par conséquent, ses points de contact avec la matière oxydante ou désoxydante.

D'un autre côté, M. Tessié du Motay, en travaillant de nouveau, dans son laboratoire, les actions chimiques auxquelles peuvent être soumis les manganates, a trouvé un nouveau corps, l'*oxyde de cuivre*, qui, mêlé dans une proportion convenable au sesquioxyde de manganèse et à la soude hydratée, aurait la propriété de faire passer le mélange, sous l'action de l'air et de la chaleur, à l'état immédiat de *permanganate*, au lieu de manganate simple.

Or, le permanganate abandonnant, sous l'action de la vapeur d'eau, une quantité d'oxygène à peu près double de celle que fournit le manganate, et cela à une température sensiblement moins élevée, il résulterait, de la réussite pratique de cette nouvelle découverte, une amélioration *considérable* et une notable réduction de dépense dans la production de l'oxygène ; et cela, d'autant plus que le mélange avec l'oxyde de cuivre rend la masse beaucoup plus poreuse et pénétrable.

Mais n'anticipons pas sur l'avenir, laissons les procédés nouveaux faire leurs preuves, et prenons, si vous le voulez bien, comme une base approximative, le prix de 80 centimes, comme coût actuel du mètre cube d'oxygène.

De nombreuses expériences photométriques ont démontré que la lumière oxhydrique magnésienne, produite par un mélange d'environ 3/5 d'oxygène et 2/5 de gaz d'éclairage ordinaire donnait à peu près 5 *à* 6 *fois* plus de lumière que le même volume total de gaz d'éclairage seul.

Or, si nous supposons le prix *de vente* de l'oxygène à 1 *franc* le mètre cube, et celui du gaz d'éclairage à 30 *centimes*, nous trouvons qu'un bec oxhydrique brûlant 90 litres d'oxygène et 60 litres de gaz ordinaire, par heure, coûtera 10 centimes, 8 ; le bec brûlant 150 litres de gaz ordinaire coûterait 4 centimes, 5.

Le prix du gaz ordinaire étant un peu moins de la moitié de celui d'un égal volume du *mélange* oxhydrique, et la lumière produite par ce mélange étant au moins 5 fois plus grande, on peut en conclure, *grosso modo*, que l'unité photométrique, ou une

égale lumière mesurée au photomètre, coûtera à peu près *moitié* moins avec l'éclairage oxhydrique-magnésien qu'avec l'éclairage au gaz ordinaire.

Voyons maintenant quelles peuvent être les difficultés d'application, les dangers : aussi bien que les avantages de l'éclairage oxhydrique.

Les grandes difficultés sont celles relatives à l'emploi et à l'entretien des crayons de magnésie, qui sont loin d'être inusables ; ainsi qu'à la double canalisation et au double appareillage nécessaires.

La question des *crayons de magnésie*, prise au début, par MM. Tessié du Motay et Maréchal, au point perfectionné où elle avait été amenée par un savant Italien, le professeur Carlevaris, a subi, depuis, de très-notables améliorations.

Le commandant *H. Caron*, l'éminent directeur du laboratoire de chimie au musée d'artillerie, s'est livré à de nombreuses expériences sur la lumière oxhydrique et sur les crayons de magnésie, et ces expériences ont été l'objet de récents rapports faits, en son nom, à l'*Académie des Sciences*, par M. *Boussingault* et par M. *Dumas*.

L'importance de ces rapports est trop sérieuse, dans la question qui nous occupe, pour que je n'en mette pas un extrait sous vos yeux.

Dans la séance de l'Académie du 4 mai dernier, le commandant Caron rappelle que depuis longtemps déjà on a constaté que la magnésie devient une puissante source de lumière lorsqu'elle est chauffée à une très-haute température. Différentes expériences, dont la plus ancienne paraît être celle de M. *Gaudin*, ont été tentées pour rendre ce procédé pratique.

Ces expériences ont démontré que l'état de *pureté* de la magnésie exerce une influence considérable sur la lumière qu'elle transmet : cette lumière peut varier, avec la pureté de la magnésie, dans la proportion énorme de 5 à 1. — La magnésie doit être surtout exempte de *silice*.

Le commandant Caron a préparé des crayons de magnésie pure, soit par la voie humide, soit par une compression énergique dans des moules en acier.

Ces crayons, dont quelques échantillons sont sous vos yeux, essayés à diverses reprises, ont conduit à la constatation des résultats consignés dans le tableau suivant :

NATURE de la MAGNÉSIE.	DIAMÈTRE des CRAYONS.	LONGUEUR des CRAYONS.	QUANTITÉ de LUMIÈRE. (Le gaz ordinaire étant pris pour unité.)	OXYGÈNE		GAZ ORDINAIRE	
				dépensé par heure.	PRESSION en centimètres d'eau.	dépensé par heure.	PRESSION en centimètres d'eau.
	mèt.	mèt.		litres.		litres.	
Crayons comprimés.	0.008	0.040	5.00	80	7	70	6
	0.006	0.040	6.50	80	7	70	6
Crayons par voie humide.	0.006	0.040	6.50	80	7	70	6
	0.002	0.040	3.50	80	7	80	6

NOTA. L'*unité* de lumière (prise dans ce tableau) est celle d'un bec de gaz ordinaire brûlant 140 litres à l'heure.

Les constatations résumées dans ce tableau sont plus favorables à la lumière oxhydrique que celles que j'ai précédemment indiquées.

Le commandant Caron fait aussi remarquer que quand on remplace le gaz d'éclairage par l'*hydrogène* pur, la consommation de l'oxygène diminue presque de *moitié* et l'intensité lumineuse *augmente* notablement; mais, par contre, dans ce cas, l'usure des crayons de magnésie est beaucoup plus rapide.

Cet inconvénient de l'*usure*, par volatilisation, des crayons de magnésie, surtout soumis à l'action des gaz *purs*, était un des plus graves reproches qu'on pût adresser à ce mode d'éclairage; aussi MM. Tessié du Motay et Maréchal, ainsi que tous ceux qui s'intéressent aux progrès de la science, doivent-ils de la reconnaissance au commandant Caron, dont les recherches persistantes ont fait connaître un nouveau corps qui remplace très-avantageusement la magnésie.

C'est cette nouvelle découverte du commandant Caron, qui a été l'objet de la communication, pleine d'éloges, faite à l'Académie des Sciences, par M. Dumas, le 25 mai dernier.

Suivant des indications données par Berzélius, le commandant Caron a été conduit à essayer, à la flamme du chalumeau, la *zircone* ou oxyde de zirconium, qu'il ne faut pas confondre avec les zircons ordinaires composés d'oxyde de zirconium et de silice.

La formule chimique représentant la zircone pure expérimentée par le commandant Caron est $Z^{n2} O^3$.

Après plus d'un mois d'expériences presques continuelles il a constaté que la zircone, soumise à l'action du chalumeau et de la lumière oxhydrique, ne présentait *aucune trace* d'usure de volatilisation, ni de réduction.

Il a constaté, de plus, que l'exposition de la zircone à la flamme oxhydrique lui communiquait un éclat lumineux, *très-sensiblement supérieur* à celui de la magnésie, et cela dans la proportion très-approchée de 6 à 5 pour une *égale dépense* de gaz.

La substitution de la zircone à la magnésie, dans ces sortes d'applications, est donc une découverte scientifique considérable, et, en même temps, un élément de succès nouveau pour la lumière oxhydrique.

Une dernière observation du commandant Caron, importante à signaler, c'est que le mélange oxhydrique projeté sur la zircone préparée en *pastilles* relativement *larges*, produit plus de lumière au photomètre, que lorsque la projection a lieu sur les petits crayons de la forme précédemment expérimentée. Avec la forme plate et agrandie de la pastille, le foyer lumineux est *moins vif* et *plus étendu* ; la somme de lumière accusée au photomètre est *supérieure* : l'utilisation du mélange oxhydrique paraît donc, dans ce cas, plus complète.

L'objection *capitale* qui prenait sa source dans l'usure rapide et la difficulté de réglage et d'entretien des crayons de magnésie, se trouve donc dès à présent, grâce à la découverte du commandant Caron, à peu près annihilée.

Il me reste à examiner rapidement les inconvénients que peuvent présenter la *double production*, la *double canalisation*, le *double appareillage* et l'obligation impérieuse de l'emploi des *régulateurs*, pour maintenir exacte, la proportion des deux gaz à la sortie des brûleurs.

La double production et la double canalisation sont certainement une grande complication : c'est, sans doute, l'objection la plus sérieuse à adresser au mode d'éclairage de MM. Tessié du Motay et Maréchal.

S'il est bon et sage de voir cette complication et de la signaler, il est également bon et sage de ne pas l'exagérer.

On a dit et écrit que le nouvel éclairage oxhydrique *doublerait* les frais d'établissement des usines et de la canalisation: c'est là de l'exagération. —Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que la quantité d'oxygène à produire ne *diminuât pas* celle de l'hydrogène : or, nous savons déjà que pour une égale puissance lumineuse, la quantité de gaz ordinaire, ou d'hydrogène pur, nécessaire à la lumière oxhydrique, est considérablement moindre que pour l'éclairage ordinaire.

Si l'éclairage oxhydrique devait un jour se généraliser, il faut bien se rappeler que *la même quantité* des deux gaz *réunis*, donnant au moins 5 fois plus de lumière que le gaz actuel *seul*, les usines nouvelles auraient à produire 5 *fois moins* de gaz que les anciennes, pour le même éclairage.

MM. Tessié du Motay et Maréchal croient qu'une usine pour l'éclairage oxhydrique coûtera *beaucoup moins* cher, pour une production équivalente, qu'une usine ordinaire. Ce n'est peut-être pas le moment, et je n'ai pas tous les éléments nécessaires pour examiner cette question ; mais il me semble admissible, *à priori*, que les usines à double gaz oxhydrique ne coûteront pas plus que les anciennes, à gaz ordinaire. Les mêmes raisons s'appliquent naturellement aux *canalisations*. Les deux conduits ayant à écouler 5 fois moins de gaz que l'unique conduit actuel, pourront être plus petits proportionnellement, et compenser ainsi en totalité ou en partie l'inconvénient de la double conduite.

Il y a encore à craindre de laisser côte à côte des canalisations susceptibles de fuites, et contenant des gaz dont la réunion peut former un mélange éminemment *détonant*. Cette considération serait relativement beaucoup plus grave, contre la lumière oxhydrique, si le gaz ordinaire, mêlé à l'air, n'était pas lui-même détonant. Mais là, non plus, il ne faut rien exagérer : la *densité* spécifique des deux gaz est tellement différente, qu'à moins qu'ils ne soient contenus en vase clos, le mélange ne se formera pas aisément. Si le mélange oxhydrique détonant rencontrait les conditions nécessaires à sa formation, il lui faudrait encore, comme au mélange d'air et de gaz ordinaire, la chaleur ou l'électricité pour produire sa détonation : il n'y aurait de différence, avec le gaz ordinaire, que dans le plus ou moins de violence de l'explosion.

Dans un cas comme dans l'autre, il y a des précautions à prendre ; comme il y en a avec la vapeur, avec l'électricité, avec tous les éléments que l'homme a soumis à sa loi.

Les inconvénients apparaissent-ils plus graves pour le double *appareillage* public et privé?

Évidemment *oui*, si l'on veut conserver, avec l'éclairage oxhydrique, le même nombre de becs qu'avec l'éclairage au gaz ordinaire. On peut dire que *non*, au contraire, si on l'applique avec des dispositions raisonnées et *spéciales*.

Dans la plupart des cas, la diminution du nombre des becs brûleurs pourra compenser, et au delà, l'obligation d'avoir deux compteurs et deux régulateurs par installation, au lieu d'un seul de ces appareils nécessaire avec un seul gaz.

Dans l'état actuel de l'éclairage au gaz, beaucoup de personnes se dispensent, même complétement, de l'emploi du *régulateur*, dont elles ignorent quelquefois l'existence et le fonctionnement ; mais, comme cet appareil procure des avantages considérables aux consommateurs de *tous les gaz* d'éclairage, on peut dire que l'obligatiou de son emploi est plutôt un avantage qu'un inconvénient.

Je ne veux pas allonger davantage cette première communication, par l'examen des divers systèmes de régulateurs, de lampes, de brûleurs et d'appareils de toute espèce

déjà expérimentés par MM. Tessié du Motay et Maréchal ; cet examen serait aujourd'hui prématuré.

Je terminerai en disant un mot des qualités *particulières* à l'éclairage oxhydrique.

La plus importante peut-être est sa parfaite *innocuité;* et, sous ce rapport, on peut dire que sa supériorité sur tous les autres modes d'éclairage en usage est absolue. En effet, cet éclairage, apportant avec lui le gaz *combustible* et le gaz *comburant*, n'a pas besoin d'emprunter à l'air ambiant l'oxygène qui est nécessaire à la combustion des autres gaz : il ne vicie donc pas l'air, et dispenserait, pour tous les éclairages *intérieurs*, de l'emploi des ventilateurs, ventouses, etc., indispensables aujourd'hui.

Quelques mots sont nécessaires pour faire apprécier cet avantage capital de la lumière oxhydrique,

Le gaz d'éclairage ordinaire absorbe *moins d'oxygène*, pour produire une égale lumière, que la chandelle, la bougie ou la lampe; pourtant, on trouve chez les divers auteurs, et notamment dans l'ouvrage de *Clegg* (dont nous devons à notre collègue, M. Servier, une excellente traduction française), qu'un *mètre cube* de gaz ordinaire exige, pour sa complète combustion, 2 *mètres cubes* d'oxygène pur pour se transformer en eau et en acide carbonique,

Or, l'air renfermant environ 20 pour 100 d'oxygène, un mètre cube de gaz exige donc 10 *mètres cubes d'air* pour sa combustion. Ce seul chiffre suffira pour faire apprécier immédiatement l'avantage *considérable* de l'éclairage oxhydrique, sous ce rapport, et on peut en dire, dès à présent, que c'est un éclairage éminemment *hygiénique*.

Ceci indiqué, on apercevra de suite beaucoup d'applications (toutes *particulières* à l'éclairage oxhydrique), qui peuvent résulter de cette précieuse faculté de brûler sans le concours de l'air. C'est ainsi qu'on a déjà songé à produire la lumière oxhydrique dans des ballons en verre absolument *clos* et sans communication directe avec l'air extérieur, — Cette application exige, naturellement, des dispositions spéciales pour le dégagement régulier de la vapeur d'eau ou des gaz résultant de la combustion; mais on conçoit aisément que si cet éclairage réussissait bien, il pourrait rendre d'immenses services pour les travaux des *mines*, en les préservant des accidents du feu grisou; il pourrait s'appliquer également à l'éclairage *sous-marin* et augmenter considérablement les services qu'on peut attendre des scaphandres; enfin il s'appliquerait aussi avec de notables avantages dans les fabriques de poudre, de produits chimiques, les filatures, etc., etc.

La lumière oxhydrique a aussi beaucoup d'analogie avec celle qui nous arrive des astres : elle permet de distinguer toutes les couleurs et les nuances délicates, comme à la lumière du jour. Mais, aujourd'hui, la qualité principale que nous demandons à tout produit nouveau, celle surtout avec laquelle il peut espérer vivre, se répandre et s'imposer, c'est le *bon marché*.

Or, si après avoir eu l'intention de retarder cette communication jusqu'après la construction de l'usine de Pantin et les nouvelles applications qui se préparent, je me suis décidé à la faire un peu prématurément aujourd'hui, c'est qu'il m'a semblé que la question *économique* était déjà résolue en faveur de la lumière oxhydrique, dans l'état actuel des choses.

J'ai donc cru utile de vous présenter, dès à présent, mes réflexions sur cette importante question, et d'appeler sur elle, comme sur les nouvelles applications qui seront faites, dit-on, dans quelques mois, votre plus sérieuse attention.

Il m'a semblé qu'il serait bon et nécessaire, que tous ceux d'entre nous qui s'oc-

cupent des questions d'éclairage examinassent, au plus tôt, ces nouvelles applications.

Le résultat de leur examen et de leurs travaux ne pourra que contribuer puissamment à élucider une question importante qui tient déjà en suspens des intérêts considérables, et sur la valeur *exacte* de laquelle tout le monde a besoin d'être promptement et sérieusement fixé.

L'indécision et l'obscurité sont les plus fâcheuses des situations ; et, dans cette question tout particulièrement, on peut dire qu'il y a le plus grand et le plus puissant intérêt à ce que la *lumière se fasse.*

M. Brull demande si l'on n'est pas obligé de tamiser la lumière, et d'en sacrifier ainsi une partie à cause de l'éclat fatigant du point lumineux? Il demande également si la production de l'oxygène n'a pas été tentée dans des appareils portatifs, comme une lampe par exemple.

M. Brull fait observer qu'il ne voit pas, dans le tableau présenté par M. Maldant, qu'on ait fait des essais sur des becs à gaz ordinaire, employés comme terme de comparaison ; il voudrait savoir si le procédé se prête à la division de la lumière par de petits becs.

M. Hamers demande si les inventeurs ont l'intention de transporter le gaz oxygène à domicile comme on le fait pour le gaz extrait du boghead.

Ce mode de livraison, auquel les monopoles existants ne font point obstacle, permettrait sans trop de frais une exploitation *immédiate.*

M. Maldant répond à M. Brüll que l'application des pastilles de zircone a surtout en vue de remédier à l'inconvénient qu'il signale. Il ajoute que, dans le tableau du commandant Caron, qu'il a extrait du Rapport fait à l'Académie des sciences, les essais ont bien été faits comparativement avec le gaz ordinaire.

M. Maldant ne voit pas d'autre inconvénient sérieux à la division de *petits becs* de la lumière oxhydrique que celui de la dépense d'installation et de la complication d'entretien *résultant de la multiplicité* des appareils.

Quant aux appareils portatifs, M. Maldant ne croit pas qu'on en ait tenté l'application. Le transport du gaz oxygène peut se faire par canalisation ou à l'aide de voitures spéciales.

M. de Fernex fait observer que la densité de l'oxygène étant beaucoup plus grande que celle du gaz d'éclairage, il sera nécessaire d'employer des moyens spéciaux pour l'envoyer à de grandes distances. Il demande si l'on a fait des expériences sur la circulation du gaz oxygène dans les conduites.

M. de Fernex pense, contrairement à l'opinion exprimée par M. Maldant dans son Mémoire, que l'adoption de ce mode d'éclairage n'entraînerait en aucune façon la suppression des ventilations qui ont pour but principal, non pas de conduire au dehors les produits de la combustion, mais bien d'empêcher l'accumulation du gaz dans un espace clos, et les accidents qui pourraient en résulter.

M. Maldant n'est pas de cet avis, il pense que les ventilateurs servent surtout au remplacement de l'air vicié par la combustion par de l'air nouveau.

M. Maldant fait observer qu'en employant le nouvel éclairage, l'application d'appareils régulateurs devient indispensable et qu'ils constituent au repos un obstacle supplémentaire au passage des gaz.

Quant au transport du gaz oxygène dans les tuyaux, il pourra exiger une pression supérieure à celle employée maintenant pour déterminer l'écoulement du gaz

d'éclairage ordinaire ; mais c'est là une condition dont l'expérience donnera facilement la mesure, et qui ne saurait constituer un obstacle grave ou insurmontable.

M. le Président remercie M. Maldant de son intéressante communication et lui demande si de nouveaux essais ne seront pas repris prochainement.

M. Maldant répond que des essais doivent être repris sur divers points, notamment dans la cour des Tuileries, et que c'est en prévision de ces essais que l'installation de l'usine de Pantin se poursuit avec activité.

MM. Bertheault, Bunel, Charton, Gouilly, Guébin, Haass, Krupp, Marlier, Parlier, Poulain, Scheidecker et Thibault ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 21 Août 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 17 juillet est adopté.

M. le Président annonce les décès de MM. Évans, ingénieur à Boston (États-Unis), Fouju, ingénieur, directeur des mines de Flumini Maggiore (île de Sardaigne), et Calard, membres de la Société.

M. le Président fait part à la Société des nominations et promotions suivantes, dans l'ordre impérial de la Légion d'honneur :

Grand'-croix, M. Schneider, président du Corps législatif.

Officiers, MM. Castor et Lavalley.

Chevaliers, MM. Delaunay, Petitgand, Pouël et Ser.

M. le Président annonce aussi que M. Banderali a été nommé officier de l'ordre de la Rose du Brésil, et M. Husquin de Rhéville, secrétaire-archiviste, chevalier du même ordre.

M. le Président donne la parole à M. Arson, pour la lecture de sa communication sur les causes de désordre auxquelles sont soumises les boussoles de navires en fer et sur les modifications à apporter dans la construction des coques.

M. Arson fait remarquer que les grands ouvrages en fer qui figurent dans la construction des usines à gaz développent des actions magnétiques d'une importance qui n'a pas été signalée et qui pouvait inspirer de l'inquiétude.

Un ancien élève de l'École centrale, M. Révellat, a constaté cette influence et l'a signalée au commencement de 1866. Il a reconnu que l'aiguille aimantée, placée à 25 mètres d'une cloche de gazomètre, est influencée par elle pendant son mouvement, comme elle le serait par un puissant aimant.

Ce n'est pas l'attraction du fer doux pour le barreau aimanté qui apparaît alors mais bien une action double, comme en exercent les corps polarisés.

L'aiguille est, en effet, déviée à l'est ou à l'ouest du nord magnétique, suivant

que la cloche monte ou descend, et fait agir ainsi sur l'aiguille son sommet ou sa base.

Il semblait que cette action déjà si puissante dans le cas d'un appareil isolé, pouvait se totaliser dans les groupes d'appareils réunis et acquérir ainsi des proportions considérables. L'influence qui semblait devoir en résulter était-elle à redouter ?

Ces questions pouvaient éveiller de l'inquiétude, et me firent entreprendre les recherches dont j'ai l'honneur de communiquer les résultats à la Société des ingénieurs civils.

Elles me conduisirent à reconnaître, et je me hâte de le déclarer, que les phénomènes développés dans les grands ouvrages en fer qui avaient éveillé tout d'abord mon attention, les gazomètres, considérés dans l'état d'équilibre ordinaire de l'atmosphère, n'offraient aucune cause de danger. Il n'en est pas de même dans certaines constructions d'un autre ordre.

Ainsi, je reconnus d'abord que la balance, dont le fléau est construit en fer, ne pouvait prétendre à un degré d'exactitude irréprochable. Puis je découvris des caractères propres aux ouvrages en tôle galvanisée, qui expliquent leur succès et justifient la confiance qu'on reconnaît volontiers à cette matière sans d'ailleurs en connaître toutes les causes. Enfin, la découverte de deux propriétés du magnétisme me conduisit à la production d'un système de compensation qui corrige les déviations de la boussole dans les navires en fer.

Le fléau d'une balance n'acquiert de sensibilité qu'à la condition d'avoir son centre de gravité très-voisin de son centre d'oscillation. Il se rapproche alors beaucoup, lorsqu'il est construit en fer, d'une aiguille d'inclinaison. On conçoit au moins que des forces relativement très-faibles, constituant un couple qui agit à ses extrémités, pourront troubler son état d'équilibre correspondant aux actions de la pesanteur.

Le maximum d'influence perturbatrice apparaît d'ailleurs bien évidemment dans le cas où le fléau sera placé dans le plan du méridien magnétique.

A ce mal, point de remède ! Il faut fatalement conclure que le fer, l'acier et la fonte de fer doivent être rejetés de la construction des balances de précision.

Propriétés du magnétisme. — Avant d'exposer ce qui est relatif aux autres parties de cette communication, il importe d'énoncer deux propriétés du magnétisme dont il doit être fait application.

La première est l'*isolement parfait*, au point de vue du fluide magnétique, qu'établit entre deux morceaux de fer doux l'*interposition d'un métal non magnétique*, si bon conducteur qu'il soit d'ailleurs de l'électricité.

Le zinc, l'étain, le cuivre, en si mince épaisseur qu'on les interpose entre deux morceaux de fer, ne déterminent pas les phénomènes magnétiques qui apparaissent, au contraire, si nettement au simple contact du fer avec le fer.

La soudure même, au cuivre ou à l'étain, ne saurait établir la liaison magnétique, ni faire apparaître les phénomènes qui en sont la conséquence.

Cette propriété est facilement accusée par deux barreaux de fer réunis par de la soudure; ils se comportent, par rapport à une boussole voisine, comme le font deux barreaux détachés. Deux barreaux séparés, mais en contact, agissent au contraire comme un barreau d'une seule pièce.

La seconde propriété du magnétisme, sur laquelle j'appelle l'attention de la Société, est la suivante :

Le déplacement des caractères magnétiques, sous l'influence du contact, est proportionnel à l'étendue du contact.

C'est-à-dire, par exemple, que si on met en contact deux barres de fer par un quart ou la moitié de leurs sections, on ne déplacera que le quart ou la moitié du fluide magnétique qui apparaissait en ces sections.

Une observation aussi simple que la précédente confirme cet énoncé.

Isolement produit par la galvanisation. — De ces caractères on peut déduire tout d'abord que le magnétisme possédé par le métal qui constitue une couverture en fer, ne se totalisera pas et restera localisé dans chaque feuille, si ce métal est recouvert d'un autre corps non magnétique.

La tôle galvanisée, la tôle étamée, et enfin, la tôle plombée jouissent de cette propriété.

Elle sera d'ailleurs complétement réalisée, si on prend soin d'éviter l'emploi des clous en fer et des contacts directs qui produiraient la totalisation des phénomènes magnétiques et des influences qui peuvent en être la conséquence.

Le revêtement du fer par des métaux non magnétiques ne paraît pas d'ailleurs présenter d'autres caractères intéressants, au moins de ceux qu'il est possible de constater par une action sur la boussole.

Si on choisit avec soin des feuilles de tôle de même épaisseur, ainsi qu'a bien voulu le faire, sur ma demande, M. Charpentier, sous-gérant des forges de Montataire, qu'on les revête de zinc, de plomb et d'étain, ou qu'on les laisse à l'état naturel, puis qu'après les avoir roulées séparément sous un même diamètre extérieur, on les approche successivement d'une même aiguille aimantée, on reconnaît qu'elles agissent toutes semblablement.

Le revêtement ne semble donc avoir apporté aucune modification à l'état magnétique du fer, tandis qu'il a produit l'isolement parfait des feuilles entre elles.

Une observation bien simple affirme ce qui précède. Si on coupe deux bandes de tôle dans une même feuille, afin d'avoir deux pièces parfaitement comparables, qu'on fractionne ensuite l'une d'elles en petites parties, qui seront réunies par des soudures à l'étain, on reconnaîtra, en approchant successivement ces deux bandes d'une aiguille aimantée, que le fluide magnétique se totalise dans l'une et reste localisé dans l'autre.

Régulation des boussoles des navires. — La boussole des navires en fer est nécessairement soumise à l'action magnétique, dont la coque est le siége.

Cette action est assez puissante pour produire des désordres qui ont eu déjà des conséquences fatales. Il convient donc de livrer à l'attention de tous les moyens correcteurs qui m'ont paru applicables.

Un navire en fer constitue un ensemble qu'on peut considérer, au point de vue magnétique, comme étant d'une seule pièce. La surface oxydée des tôles mises en contact n'établit pas d'abord une continuité parfaite, mais le travail de la rivure et du matage le réalise complétement. Le fluide magnétique de cet ensemble s'y répartit donc sans obstacle sous l'influence directrice de la terre.

Si le navire évolue, les pôles instantanés se déplacent en prenant incessamment des positions commandées par l'action terrestre.

Les pôles ainsi constitués sont assez puissants pour troubler l'attitude normale de la boussole, et puisqu'ils sont incessamment changeants, aucune des corrections ac-

tuellement pratiquées, résidant dans un ouvrage fixe, ne saurait en combattre les effets.

On comprend bien aussi que la boussole ne doit être l'objet d'aucune recherche à ce sujet. Puisqu'elle doit rester sensible à l'action de la terre, elle est fatalement condamnée à rester sensible aussi à l'action du magnétisme du navire. C'est donc dans la disposition des parties constituant la coque qu'il faut trouver un remède au mal à corriger.

Voici le moyen proposé :

Si on considère un navire en fer pendant qu'il évolue, on reconnaît facilement les positions dans lesquelles le fluide magnétique occupe des situations qui peuvent provoquer une action perturbatrice sur la boussole, quel que soit d'ailleurs le lieu où celle-ci soit placée dans le navire.

Dans la direction du méridien magnétique ou dans celle d'un cercle parallèle, la répartition symétrique de la coque et des influences dont elle est le siége produira des actions équilibrées qui ne fausseront pas la position normale de la boussole. Mais dans toutes les orientations intermédiaires à celles-là, des pôles instantanés provoqueront le trouble en question.

Si, par la pensée, on coupe le navire en deux parties égales par un plan perpendiculaire à sa longueur, qu'on réunisse ces deux parties en les isolant par un corps non magnétique, le cuivre, par exemple, puis qu'on place la boussole dans ce plan, on aura produit un système possédant quatre pôles magnétiques, et qui se comportera autrement que le précédent.

Dans les orientations perpendiculaires, la symétrie des choses matérielles et du système magnétique conserveront encore à la boussole son état normal; mais, dans les positions intermédiaires, un désordre inverse du précédent se produira.

La moindre figure tracée dans l'hypothèse d'une orientation à 40°, par exemple, et faisant apparaître quatre pôles instantanés au lieu de deux, montre que ceux du centre, placés à une moindre distance de la boussole, auront une influence plus grande que ceux des extrémités, et que le sens de leur action sera contraire.

Ici intervient le rôle du principe énoncé au commencement de la présente communication.

Puisque la correction dépasse dans la mesure le but à atteindre, il suffit de la réduire. Ce résultat sera obtenu facilement en diminuant, dans la proportion convenable, la coupure de la coque.

Cette réduction dans la proportion du moyen permettra de conserver intactes toutes les œuvres importantes du navire : la quille, les carlingues, les pressentes, etc. La coque seule devra être interrompue, et encore seulement dans une partie de son étendue.

Il serait fort utile assurément de pouvoir déterminer à l'avance la proportion qu'il conviendra de donner à l'interruption magnétique. Mais si on y réfléchit, on reconnaît que l'appréciation absolue en est très-difficile.

Les forces qui sont en jeu n'ont pas de point d'application défini, même dans un corps de forme régulière, à plus forte raison dans un ouvrage dont la configuration est aussi tourmentée que celle d'un navire.

En outre, leur situation change avec l'orientation, et ce déplacement ne permet pas de lier entre eux les divers mouvements qu'il conviendrait de supposer à leurs résultantes.

Enfin, l'intensité elle-même de ces forces varie avec l'orientation, et c'est là une

condition qu'il n'est pas permis de négliger, puisque c'est un des caractères essentiels du système.

Il importe en effet de remarquer que les forces magnétiques propres à chaque moitié du navire, établies dans une proportion convenable par l'étendue de la coupure, et qui influent dans cette proportion à l'origine du mouvement à l'Est ou à l'Ouest, deviennent égales lorsque le navire est orienté plein Est ou plein Ouest.

Ainsi donc le système dont il faudrait suivre les conditions d'équilibre est variable à chaque instant, et dans l'intensité des forces et dans leurs points d'application.

Toutefois, en considérant une orientation voisine de 45°, qui permet d'attribuer aux forces magnétiques des positions et des intensités à peu près certaines, on arrive à déterminer d'une manière approximative, sinon rigoureuse, le rapport qu'il convient d'établir entre ces forces, c'est-à-dire la fraction de la coque qu'il faut interrompre.

Un calcul de cette nature, appliqué aux constructions usitées, fait voir que la coupure de la coque ne devra être que du *cinquième au quart* de la section, et montre combien le moyen est d'une application facile.

L'expérience permet en outre de contrôler les déductions fournies par le calcul.

Si on construit un demi-cylindre d'une seule pièce et continu, figurant la coque d'un navire qui n'aurait pas reçu l'application du procédé, on trouve qu'il dévie l'aiguille dans une proportion considérable.

Si on construit un demi-cylindre semblable, mais coupé en son milieu, on trouve que la déviation imposée à l'aiguille est dans le sens contraire du précédent.

Enfin, si on n'interrompt la continuité du métal que dans la proportion donnée par le calcul approximatif dont il vient d'être parlé, on reconnaît que la compensation est fort approchée, sinon parfaite, et on comprend qu'un tâtonnement très-limité permettrait de la réaliser complétement.

Dans l'application, il suffira donc très-probablement de déterminer par le calcul en question la proportion maximum de la coupure à opérer ; puis, lors de la régulation définitive, de régler cette interruption à sa juste proportion.

Le remplacement des rivets en cuivre par des rivets en fer, ou inversement dans les assemblages de la coupure, permettra sans aucun doute de régler exactement la puissance du moyen correcteur.

C'est d'ailleurs une opération qu'il suffira d'avoir faite sous une latitude quelconque et qui restera bonne dans toutes les autres.

La solution est indépendante, en effet, de la valeur absolue des forces en jeu ; elle repose sur leur répartition en des proportions données, et celles-ci resteront constantes, puisqu'elles dépendent du rapport des sections de la matière.

L'application du procédé répond donc à toutes les exigences de la question, tout en ne mettant en œuvre que des moyens faciles et dans une proportion qui les rend très-réalisables.

Métal non magnétique intercalaire. — Le cuivre paraît être le métal non magnétique le plus convenable à employer pour constituer les fragments séparateurs. Il est malheureusement oxydable par l'eau de mer, et il devra être soustrait à son action. Mais si l'on songe à la faible proportion qu'il suffit d'interrompre dans la section de la coque, on reconnaît qu'il sera possible de la produire dans les tôles qui constituent les flancs, en les bordant de cornières qui emprisonneront entre elles une bande de cuivre de quelques millimètres d'épaisseur. Les rivets pourront être

conservés en fer, et la bande de cuivre pourra être bordée à l'extérieur et à l'intérieur par un métal moins oxydable par l'eau de mer; enfin, elle pourra être préalablement galvanisée.

Isolement des plaques de blindage. — Ce qui précède rend à peine nécessaire de dire que l'isolement des plaques de blindage sera obtenu avec une extrême facilité et une parfaite certitude.

Ces plaques sont séparées de la coque par une épaisse couche de bois dur, et leur liaison n'est établie que par des vis en fer dont la section est relativement très-petite.

Or, on a vu que le déplacement du magnétisme d'une pièce au contact d'une autre ne s'opérait que proportionnellement à la section en contact; le résultat, dans le cas des attaches des plaques de blindage, sera donc tout à fait négligeable. Il entrera d'ailleurs dans la somme des corrections de la coque.

La seule chose qui paraisse intéressante à produire à l'égard de ces plaques de blindage, c'est leur isolement entre elles, et le plus faible écartement suffira.

Par ce qui précède, on reconnaît facilement que l'application d'un blindage ainsi disposé ne changera pas l'équilibre établi dans la coque. Ces appareils, quoique formés de masses considérables de fer, n'offriront pas plus de difficulté à la régulation, et pourront posséder une boussole aussi indépendante que les constructions en bois.

Magnétisme libre dans l'acier aimanté. — On a proposé de détruire l'influence du magnétisme dans les coques des navires en fer en immobilisant son action. On pensait qu'il suffirait pour cela de les construire en tôle d'acier trempé aimanté. Une telle solution est si impraticable qu'il n'y a pas lieu de l'examiner pour elle-même, mais à cause des questions de principe qu'elle soulève. Le fluide magétique existe en effet dans l'acier trempé aimanté au même état de liberté et au même degré d'intensité que dans le fer doux.

Rien de plus facile à vérifier. Si on prend un barreau d'acier trempé aimanté, qu'on le présente perpendiculairement à une aiguille en le tenant dans le plan horizontal, on constate que les deux pôles qui agissent en sens contraires produisent des déviations égales. On en conclut d'abord que ces pôles ont des intensités fixes également puissantes.

Mais si on place le même barreau dans la direction de l'aiguille d'inclinaison, le pôle austral en bas, on constate une intensité magnétique beaucoup plus considérable que si ce pôle est en haut.

La raison en est évidemment due à ce que, dans le premier cas, l'état magnétique libre, rendu sensible par la position du barreau, s'ajoute à l'état magnétique fixe, tandis que, dans l'autre, il s'en retranche.

Il importait de savoir si cet état magnétique indépendant existait d'une manière constante, ou bien s'il était modifié dans son intensité par l'aimantation.

On pouvait supposer en effet qu'il devait disparaître au fur et à mesure que le degré d'aimantation du barreau était poussé plus loin.

Une observation très-simple encore a levé tous les doutes à cet égard.

Un barreau d'acier trempé a été présenté à une aiguille avant et après son aimantation, et la déviation due au magnétisme a été trouvée la même.

On s'explique d'ailleurs facilement ce résultat, en songeant que le magnétisme,

considéré comme électricité libre, occupe aussi bien le barreau aimanté que le barreau non aimanté, comme elle occupe tous les corps à la surface de la terre.

M. le Président, après avoir constaté l'intérêt qui s'attache à la question traitée par M. Arson, donne la parole à M. Ball pour sa communication sur la mensuration industrielle des corps gazeux.

M. Ball fait remarquer qu'il y a deux systèmes de compteur à gaz : les compteurs humides et les compteurs secs.

Le compteur humide a été inventé en 1815 par Samuel Clegg.

Ce type, perfectionné en 1819 par John Molam, est celui actuellement employé dans tous les pays où l'on se sert encore presque exclusivement du compteur humide.

Ce compteur se compose d'un axe horizontal sur lequel est monté un tambour divisé par un certain nombre de cloisons ou ailettes. Tout l'appareil est contenu dans une boite fermée dans laquelle on maintient de l'eau jusqu'à un niveau déterminé. Le gaz arrive par le centre, remplit l'un des compartiments formés par les ailettes, et, en agissant par sa pression à la fois sur le plan d'eau et sur la cloison le gaz déplace le tambour jusqu'à ce que la rotation ait amené le compartiment suivant dans la position qu'occupait le premier.

M. Ball fait remarquer que le principe de l'appareil repose sur l'invariabilité de la position du plan d'eau ; or, l'évaporation de cette eau ou la condensation de la vapeur d'eau contenue dans le gaz sont deux causes qui font varier constamment la position de ce plan d'eau.

M. Ball indique diverses dispositions qui ont été proposées pour maintenir le niveau de l'eau et ajoute que ces dispositions compliquent l'appareil et ne fonctionnent plus au bout d'un temps assez court.

En pratique, on est réduit à faire rétablir le niveau de l'eau dans les compteurs par les agents de la Compagnie, deux fois par mois.

M. Ball ajoute que la variation du niveau de l'eau des petits compteurs influe sur leur débit dans une proportion considérable (de 15 à 20 p. 100), et que la Préfecture a condamné d'une manière absolue l'emploi des compteurs de deux et trois becs.

M. Ball décrit ensuite le compteur sec. Inventé il y a environ 25 à 30 ans, il prit d'abord les formes les plus singulières. Ces appareils, mal conçus et mal exécutés ont donné de mauvais résultats. Ces appareils ont été modifiés, et le véritable compteur sec a été inventé, il y a environ vingt-quatre ans, par Richard.

M. Ball montre à la Société divers modèles de ces appareils et en donne une description sommaire.

Un compteur sec se compose de deux disques reliés chacun à un cadre, fixe au bâtis général de l'appareil, par l'intermédiaire d'une enveloppe flexible.

Une distribution à robinet amène le gaz successivement dans chacune des poches ainsi formées, qui, en pliant et se dépliant, font fonctionner un système de cadrans analogues à ceux employés dans les compteurs humides.

A l'aide de ce jeu double de soufflets, la pression reste constante à la sortie du compteur.

M. Ball résume ainsi les avantages du compteur sec.

Il mesure invariablement de même, rien ne pouvant être modifié dans son intérieur. Il ne présente aucune ouverture accessible, une fois posé.

Le compteur est insensible à l'action du froid.

La lumière est toujours régulière.

L'absence de l'eau conserve au gaz tout son pouvoir éclairant et donne aux compteurs une durée très-longue, en les mettant à l'abri de l'oxydation.

M. Ball fait remarquer qu'en Angleterre et dans d'autres pays le compteur sec a remplacé presque complétement le compteur humide, et que l'on a pu remarquer à l'Exposition que, sur six fabricants d'appareils à gaz, cinq avaient exposé de ces appareils.

M. Arson a suivi les essais qui ont été faits sur des appareils déjà anciens, construits par la maison Manby.

Dans ces essais, la difficulté principale que l'on a rencontrée consiste dans la raideur du cuir qui se desséchait et finissait par exiger des pressions énormes pour continuer à fonctionner. C'est surtout ce que l'on a remarqué lorsque après un assez long arrêt on voulait remettre le compteur en service.

M. Arson ne sait pas si, dans les appareils actuels, on a évité cet inconvénient. Il ajoute que la dénivellation de l'eau dans le compteur ordinaire n'a pas l'importance que lui a attribué M. Ball, le volume engendré par le compteur étant celui d'un tore dont le rayon extérieur reste invariable, tandis que le petit rayon varie avec le niveau de l'eau.

M. Arson ne croit pas que les petits compteurs humides soient si défectueux, et il ajoute que les compteurs de 5 becs sont déjà des appareils très-précis.

M. Arson croit aussi que la pression nécessaire pour la marche du compteur doit être maintenue plus grande dans le cas du compteur sec, mais que cette considération n'a pas grande importance, les compagnies maintenant dans les conduites une assez forte pression.

M. Dallot désire savoir s'il y a des différences de prix entre un compteur sec et un compteur ordinaire de même volume.

M. Ball fait remarquer que les expériences dont M. Arson a rendu compte sont déjà très-anciennes et que les inconvénients signalés par lui n'existent plus dans les appareils récents qui fonctionnent constamment et en grand nombre dans divers pays, et principalement en Angleterre.

M. Ball ajoute que le prix de ces compteurs est le même que celui des compteurs ordinaires. Sur la demande de M. Arson, M. Ball indique que les compteurs secs sont aujourd'hui admis par la préfecture.

M. Arson fait remarquer qu'à Paris c'est la préfecture de la Seine qui veille aux conditions de mesurage du gaz consommé par les abonnés, et que pour cette raison, c'est elle aussi qui admet ou refuse les systèmes de compteurs, comme c'est elle qui en vérifie et contrôle la bonne exécution.

M. le Président demande s'il y a des compteurs secs en usage à Paris.

M. Ball répond que cinquante de ces compteurs ont été achetés par la Compagnie du gaz qui les a mis en service.

M. le Président remercie M. Ball de sa communication.

Séance du 4 Septembre 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 21 août est adopté.

M. Maldant regrette de n'avoir pu assister à la dernière séance, car il aurait présenté des observations au sujet d'une partie des affirmations de M. Ball, relativement aux mérites respectifs des compteurs secs et humides.

M. Maldant est d'avis qu'il y a des erreurs et des exagérations dans la communication qui a été faite à ce sujet; et il croit qu'il serait fâcheux que la Société restât sans réserve sous l'influence de cette communication.

M. Maldant tient à poser dès à présent ces réserves; et il est prêt, si la Société le désire, à les justifier par des explications immédiates.

M. le Président ne voit pas d'objections à revenir sur cette discussion; mais il ne peut admettre qu'elle ait lieu de suite parce qu'elle n'est pas à l'ordre du jour et que d'ailleurs M. Ball n'est pas présent à la séance.

M. Maldant déclare se tenir à la disposition de la Société et à celle de M. le Président.

M. Jules Morandière donne lecture du rapport de la vingtième section[1] relative au matériel roulant.(voitures et wagons) à l'Exposition universelle de 1867. (Ce rapport devant être inséré *in extenso* dans le bulletin trimestriel nous n'en donnons ici qu'un résumé.)

La vingtième section dans sa première séance, tenue le 14 juin 1867, a arrêté la répartition de ses travaux basée principalement sur les facilités de relation que les divers membres pouvaient avoir avec les exposants étrangers. D'un autre côté, les chefs de service du matériel des chemins de fer français ont bien voulu se charger de fournir les renseignements concernant leurs expositions respectives. Dans six autres séances suivantes, les renseignements recueillis par chacun des membres ont été successivement communiqués, comme l'établissent les procès-verbaux de ces séances déposés dans nos archives.

La réunion des documents s'est faite plus particulièrement.

I[2]. Sur les voitures françaises, par M. Benoît-Duportail, ingénieur au chemin de fer de l'Ouest.

1. Les membres de cette section étaient : MM. Mayer (Ernest), *Président;* Jules Morandière, *Secrétaire;* Ameline, Banderali, Benoît-Duportail, de Bonnefoy, Bricogne, Delannoy, Leconte, Lencauchez, Marié, Mathieu (Henri), Veret, Vuillemin (L.), auxquels ont été adjoints dans le cours des séances : MM. Dorré, Goschler, Lecorbellier et Regnard.

2. Ces numéros correspondent à ceux des dossiers de la 20e section.

II. Sur les wagons français et les véhicules de la Grande-Bretagne et du Canada, par M. Henri Mathieu, ingénieur au chemin de fer du Midi.

III. Sur les véhicules des Pays-Bas, de l'Allemagne, de l'Autriche et de l'Italie, par M. Vuillemin, ingénieur en chef au chemin de fer de l'Est; M. Dorré, inspecteur de la même Compagnie, et M. Veret.

IV. Sur les véhicules de la Belgique, par M. Banderali, ingénieur au chemin de fer du Nord, ainsi que sur divers objets, tels que : dynamographe de M. Holtz; couvertures mobiles de M. Delannoy, aspirateur Nouailler.

V. Sur les wagons de terrassements, par M. Lecorbellier, ingénieur au chemin de fer de l'Ouest, ainsi que sur les tricycles en fer de M. Balans.

VI. Sur les chapitres spéciaux des freins, des communications du personnel des trains, et des ferrures de wagons, par M. Bricogne, ingénieur au chemin de fer du Nord.

VII. Sur les chapitres spéciaux du graissage et de l'éclairage, par M. Ameline.

VIII. Sur les chapitres spéciaux des essieux montés et des ressorts, par M. J. Morandière. — M. Morandière a été également chargé de résumer les divers documents dont la lecture *in extenso* aurait demandé un temps trop considérable, et c'est ce résumé que nous soumettons en ce moment.

Plusieurs séances de la Société ont été consacrées à des communications et conversations sur l'Exposition de 1867, mais comme aucune d'elle n'a eu trait aux voitures et wagons, la vingtième section a pensé qu'en attendant les travaux particuliers qui pourront surgir plus tard, elle devait exposer les faits saillants qui ressortent de la lecture des Mémoires spéciaux que chacun de ses membres a joint à son dossier.

Nous adopterons pour le résumé l'ordre qui a été indiqué plus haut pour les dossiers, en groupant toutefois les numéros I à V de manière à rapprocher ensemble les véhicules de même nature des diverses nationalités.

DOSSIER I A V.

Voitures à voyageurs françaises et étrangères. Tendance générale à l'introduction du fer dans les châssis.

Améliorations des voitures de l'Est. Voitures à impériales fermées. — Compartiments et coupés lits.

Véhicules étrangers plus lourds que les voitures françaises. Fenêtres de portières, seules mobiles. — Coussins élastiques. Voitures avec water-closets. Wagons-poste prussien muni d'un appareil de prise des dépêches. Voiture de M. Duders. Voiture à quatre roues et à couloir de la Suisse. Wagon-ambulance des États-Unis. Wagon-dortoir du Canada. Wagons-poste de la Grande-Bretagne.

Fourgons à bagages de l'Est; à messagerie et à six roues, sans frein de Lyon; lestés; à marchandise de la Compagnie de l'Est; à bagage des Pays-Bas, avec glaces réfléchissantes, permettant au conducteur de voir de sa place le dessus et le côté du train.

Wagons à marchandises, Tendance générale à l'introduction du fer dans le bât et même pour la caisse.

Wagon à houille à châssis en fer de Lyon ; — wagon pour houillères de MM. Chevalier-Cheilus ; — wagon brisé de M. Vidard.

Wagon couvert tout en fer de la Société belge (Ch. Évrard) ; wagon à houille tout en fer de M. Schmidt et de M. Ruffert ; — wagon à houille de M. Carl Weyer, à châssis en fer ; — wagon couvert de M. Lenders ; — wagon couvert des chemins romains ; — dessins de wagons autrichiens.

Wagons de terrassements de M. Om. Chauvin, et tricycles en fer de M. Balans, pour le service des gares.

Appareils divers. Aspirateur de M. Houalhier pour la ventilation des voitures et wagons ; — couvertures mobiles de M. Delannoy ; — dynamographe enregistrant les efforts de traction, par M. Holtz.

DOSSIER VI.

Freins. Frein à embrayage électrique de M. Achard ; — frein Stilmant à cor articulé ;—frein de M. Tabuteau ;—perfectionnement du frein Guerin, par M. Dorré ; — appareil de serrage, système Lapeyrie ; — frein des voitures Fell, frein Creamer, et quelques autres. Appareil régulateur du desserrage, des freins prussiens.

Communications entre le personnel des trains. Système électrique Prudhomme ; — avertisseur pneumatique, système Joly ; — système électrique de M. Preece, et divers autres.

Ferrures. Procédés de fabrication des pièces de forge des voitures et wagons.

DOSSIER VII.

Graissage. Boîtes à graisse ; — boîtes à huiles à réservoir de sûreté, à graisse et bouchons fusibles, du Nord, d'Orléans et du Midi ; — boîtes Dietz ; — boîtes Delannoy ; — boîtes Basson avec filtre ; — boîtes à tampon inférieur et à réservoir supérieur avec mèches, des chemins allemands ; — boîtes Basson se remplissant seulement tous les six mois ; — boîte Gobert ; — boîtes à eau de Pireh, Aerts et Hœck.

Eclairage. Régulateur à gaz de MM. Simond et Achard. Lampe au pétrole de signaux extérieurs des trains. Éclairage à la bougie, en Allemagne. Injecteur-lampe destiné au remplissage des lampes, par MM. Dezelu et Guillot.

DOSSIER VIII.

Essieux montés. Roues Arbel ; — roues pleines en acier fondu ; — roues pleines en fonte ; — roues à secteurs en bois.

Essieux et bandages en acier, très-répandus en Allemagne. Uniformisation des dimensions des principales parties des essieux. — Profil des bandages de l'Ouest.

Ressorts. Ressorts en lames avec étoquiaux, ou avec nervures ; — ressorts en spirales ; ressorts en volutes des Allemands ; — ressorts en rondelles du système Belleville.

Tableau général des principales dimensions des voitures et wagons.

Il est donné lecture d'une note de M. Desgrange sur le Mémoire de M. Gottschalk relatif à l'exploitation des lignes du réseau sud autrichien, et particulièrement du Semmering.

M. Gottschalk qui, au mois de septembre dernier, a succédé à M. Desgrange dans la direction du service du matériel et de la traction du réseau sud autrichien, a adressé à la Société un Mémoire de ce service pendant l'année 1867, pour faire suite à ceux reçus depuis 1860.

Ce Mémoire constate que les améliorations successivement apportées dans la traction de ces lignes, et spécialement dans la section du Semmering jusqu'à la fin de 1865, se sont non-seulement maintenues mais qu'elles ont encore fait un nouveau progrès en 1867.

Nous ne devons pas parler des résultats de 1866, car les transports considérables et exceptionnels faits pendant la guerre ont dû nécessairement modifier les conditions normales de l'exploitation. Le nombre des trains a été énorme, et quoique le travail des ateliers ait été aussi considérablement forcé, il n'a pu l'être en proportion du travail produit par le matériel.

La dépense par kilom. de train du réseau entier, Semmering compris, avait été en 1865 de . . . . 0 fr. 977

La même dépense de traction en 1867 a été de 0 992

Pour le *Semmering* seul la dépense de traction pendant l'année 1865, avait été pour un train simple, remorqué en une fois, de. . . . . 1 fr. 70
et pour le train de marchandise remorqué en deux fois, de. . . . . . . 3 · 40

En 1867, ces chiffres sont descendus à 1 fr. 666 pour le train simple, et à 3 fr. 33 pour le train double.

Ces réductions eussent évidemment été plus sensibles sans le travail supplémentaire que les ateliers ont dû faire, pour remettre en état le matériel surmené l'année précédente, et sans l'abondance des neiges qui a interrompu le service pendant tout le mois de décembre sur une partie des lignes, et occasionné des dépenses supplémentaires.

On peut donc affirmer que les dépenses déjà si réduites de la traction sur le Semmering et les autres parties du réseau ne sont pas, comme quelques personnes étaient tentées de le croire à l'origine, la conséquence de la période de construction. Les chiffres ci-dessus indiquent bien toutes les dépenses de traction d'une exploitation normale. Des machines en service ont plus de dix-huit années d'existence; elles sont réparées, modifiées ou remplacées au compte-entretien, de même qu'un grand nombre de véhicules de toute espèce. Des avaries de matériel, parfois très-considérables, causées par des services étrangers sont toujours supportées par le service de la traction.

L'intérêt qui s'attache au résultat de la traction du réseau sud autrichien va s'accroître par suite de l'ouverture récente de la ligne du Brenner qui, sur une longueur de 125 kilomètres, présente presque continuellement des rampes de 15 à 25 millimètres, et des courbes au-dessous de 300 mètres. Mais cette partie n'ayant été mise en exploitation qu'en septembre dernier, M. Gottschalk n'a pu évidemment établir aucune comparaison sérieuse des dépenses de cette section avec celles des autres parties.

Toutefois il est quelques points intéressants indiqués par M. Gottschalk, et sur lesquels M. Desgrange appelle l'attention de la Société.

On sait que les rayons de 189 mètres des courbes de Semmering ne permettent pas d'employer avec avantage et même sans danger, deux machines par train; mais cette raison n'existe pas pour le Brenner, et, ainsi que nous l'annonçions déjà l'année dernière, la Compagnie a été autorisée à y faire passer ses trains de 350 tonnes, en une seule fois, au moyen de *deux machines attelées, l'une en tête, l'autre en queue.* Outre une sécurité complète, en cas de rupture d'attelage, cette méthode offre évidemment plusieurs autres avantages qu'il est superflu d'indiquer.

Une grande difficulté de l'exploitation du Brenner se trouve dans le moyen de régler la vitesse à la descente. La proportion de freins, suffisante sur le Semmering avec des courbes de 189 mètres, ne l'est plus sur le Brenner avec des courbes de 300 mètres, bien que les pentes soient les mêmes sur les deux lignes.

Au Semmering, la voie est double; au Brenner elle est simple (du moins provisoirement), il en résulte une différence notable sur l'adhérence. La nature des rails à tête d'acier Bessemer, employés au Brenner, semble également avoir jusqu'à présent une influence défavorable sur l'adhérence.

On conçoit qu'une seule de ces deux raisons, voie simple et rail d'acier, suffise déjà pour expliquer une réduction de l'adhérence; on comprend que ces deux causes venant s'ajouter l'une à l'autre, la difficulté dont il s'agit ne soit sensiblement augmentée tant pour gravir la rampe que pour modérer la vitesse à la descente. Dans le premier cas, il y a patinage des roues; dans le second, le coefficient de frottement est réduit, et cela pour les mêmes causes, surface polie et durcie des rails.

On obvie jusqu'à un certain point à ces difficultés par l'emploi du sable, mais ce moyen quoique largement pratiqué est insuffisant.

C'était donc l'occasion, pour la descente, de faire usage de la contre-vapeur.

A cet effet, toutes les machines du Brenner ont été munies des appareils Le Chatelier, analogues à ceux adaptés aux machines de la Méditerranée.

Les renseignement donnés par le Mémoire dont nous parlons sont, il est vrai, peu favorables au système qui semble n'avoir été appliqué jusqu'à présent que comme frein de sûreté en cas d'urgence, comme autrefois le contre-vapeur avec la simple levier de changement de marche, mais il résulte des nouveaux renseignements qui ont été fournis tout récemment par M. Gottschalk que les inconvénients signalés dans son mémoire ne se rapportent guère qu'à une période d'hiver, et alors que le personnel n'était pas encore bien exercé. De meilleurs résultats ont déjà été obtenus et il est probable qu'ils se développeront encore.

Les nouvelles machines à marchandises, établies dans les conditions générales de celles modifiées du Semmering, avec tout le mécanisme et tout le bâti extérieur, donnent les meilleurs résultats. La charge maxima des trains de marchandises a atteint, pendant le dernier hiver, jusqu'à 369 tonnes.

Dans ce cas, le poids brut de chaque train devient :

Poids des wagons remorqués.		369 tonnes.
— des deux machines. . .	94,600^{kg}	131 —
— des deux tenders. . . .	36,400	
Total.		500 tonnes.

En multipliant ce poids par 6 + 25 kilogr., on trouve que l'effort de traction développé est de 15,5000 kil., et que le travail des deux machines à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure est de 850 chevaux environ, soit 425 chevaux par machine. —

Dans ces conditions la vaporisation n'est pas forcée, puisque chaque mètre carré de surface de chauffe ne correspond qu'à moins de deux chevaux et demi.

M. Bonnet (Auguste), secrétaire de la vingt-et-unième section, lit son rapport sur les travaux de cette section, qui avait à examiner les locomotives et tenders, les appareils divers de traction sur voie ferrée et l'outillage des ateliers.

Dans cette séance, M. Bonnet passe successivement en revue les différents types de locomotive qui se trouvaient à l'Exposition universelle de 1867 :

Machines à roues libres, machines mixtes, machines à deux essieux.

Machines tenders et machines à marchandises et tenders, et les dispositions principales des chaudières et des appareils, moteur et propulseur :

Essieux sous le foyer des machines.

Emploi de la houille menue pour le chauffage des locomotives.

Augmentation du timbre et du diamètre des chaudières.

Les matières employées pour leur construction.

Les foyers, les grilles, les cendriers et l'injecteur Giffard.

Coulisses, mannivelles, bielles, cylindres, distribution.

Roues Arbel, Gouin, pleines, en fonte, bandages et essieux.

Il n'est donné ici que le sommaire de ce rapport, qui doit être imprimé *in extenso* dans le bulletin trimestriel de la Société.

M. le Président donne communication de l'avancement des travaux de l'Isthme de Suez à la date du 15 juillet, que M. Ferdinand Lesseps a adressée à la Société.

Cube total à extraire	74,112,130mc
Cube total extrait du 15 juin au 15 juillet	1,811,537
Cube total extrait précédemment	43,302,168
Cube total extrait à ce jour	45,113,705
Cubes restant à extraire	28,998,425
Nombre de dragues en marche	59
Nombre de dragues à mettre en fonction	1
Nombre de terrassiers	10,677

Jetées de Port-Saïd.

	JETÉE OUEST.	JETÉE EST.
Longueur actuelle	2,500m	1,900m
Fond atteint	8m.40	5m.50
Cube total de blocs à immerger	250,000mc	
Cube de blocs immergé dans le mois	6,953mc	3,672mc
Cube immergé précédemment	158,071	49,909
Cube total de blocs immergé	165,024	53,581
Cube restant à immerger	31,395mc	

Séance du 18 Septembre 1868.

Présidence de M. Ch. Callon, *vice-président.*

Le procès-verbal de la séance du 4 septembre est adopté.

M. le Président fait part à la réunion du décès de M. Adrien Laumond, membre associé, en la personne de qui notre Société fait une perte aussi sensible qu'inattendue.

M. le Président donne la parole à M. Félix Bonnet, pour la continuation de la lecture du rapport de la vingt et unième section, chargée de l'étude à l'Exposition universelle, des locomotives et tenders, des appareils de traction sur voies ferrées, et de l'outillage des ateliers.

Il n'est donné ici que le résumé de cette seconde partie du rapport, qui sera inséré *in extenso* dans le *Bulletin* trimestriel de la Société.

Le seul fait important à signaler relativement aux boîtes à graisse, est l'extension de l'application des plans inclinés pour le jeu latéral nécessaire au passage des courbes de faible rayon.

Les ressorts de suspension des machines et tenders sont construits et installés suivant les anciennes méthodes, et ne donnent lieu à aucune remarque importante. Cependant, la machine express, construite par le Creusot pour l'Angleterre, et son tender ont une suspension mixte en ressorts d'acier et de caoutchouc.

L'usage des balanciers compensateurs de suspension est devenu presque général. La plupart des machines de l'Exposition en sont plus ou moins complétement pourvues.

Toutes les manières anciennement connues de disposer les longerons du châssis, intérieurs ou extérieurs, ou à la fois intérieurs et extérieurs, sont également représentées à l'Exposition ; et on ne peut pas dire qu'un des systèmes ait une tendance à prévaloir sur les autres.

On remarque deux dispositions nouvelles de longerons : l'une, appliquée à deux machines dont l'essieu d'arrière est placé sous le foyer, est à longerons intérieurs aux roues dans toute la longueur de la machine, et avec longeron partiel extérieur; elle a pour but de transporter la boîte à graisse en dehors des roues, afin de la soustraire à l'action du feu. — La deuxième disposition consiste à former chaque longeron de deux parties dont aucune n'a la longueur totale de la machine. La partie d'avant est intérieure aux roues, et celle d'arrière est extérieure. Les deux parties sont réunies entre elles par un solide assemblage. Cette méthode a été réalisée d'une autre manière, et déjà anciennement par le chemin de fer de l'Est, pour le découplement de ses machines Engerth au moyen d'un longeron coudé.

Les longerons découpés dans une table de métal laminé, de forme rectangulaire ou festonnée, de manière à obtenir d'une seule pièce le brancard, les plaques de garde et leurs entretoises; les pattes de support des rotules, chasse-pierres, freins, etc., sont adoptés d'une manière à peu près générale. Cependant on fait encore

des longerons à double épaisseur, formés de deux lames jumelles ainsi découpées dans des tôles minces.

Le système des longerons formés d'un brancard avec plaques de garde rapportées subsiste encore; mais il est de plus en plus délaissé, pour ne pas dire abandonné.

L'emploi des tôles d'acier pour y découper les longerons a fait sa première apparition.

Trois des machines de l'Exposition présentent des manières exceptionnelles de construire les longerons des machines et des tenders :

1° Longerons en fer à double T de grande dimension, découpés pour les plaques de garde, ou avec plaques de garde rapportées (machine de Graffenstaden) ;

2° Longerons en grosses barres forgées, de forme rectangulaire, contre-coudées, et avec pièces de forge rapportées pour former les plaques de garde (machine américaine). Cette construction est usuelle en Amérique ;

3° Longerons en tôle découpée, formant les parois latérales d'une soute à eau (Krauss).

Il y a une tendance assez prononcée à remplacer les traverses en bois qui relient les extrémités d'avant et d'arrière des longerons, surtout celles d'arrière, par des traverses métalliques conjuguées avec les tôles de l'attelage, de manière à former une poutrelle solide.

Les traverses intermédiaires qui servent à relier les longerons à la chaudière sont, de manière ou d'autre, presque universellement disposées à glissement, sinon, à supports légèrement flexibles, pour permettre la libre dilatation de la chaudière sans fatigue pour les longerons ni pour la chaudière.

Les tampons de choc sont tous, ou en caoutchouc, ou en ressorts d'acier, soit en spirale, soit à lames étagées.

L'attelage d'arrière des machines à tender n'a pas été modifié et se fait toujours par les moyens anciennement pratiqués. L'appareil Stradal semble résoudre d'une manière pratique le problème de l'attelage de la machine par son centre de gravité ou d'oscillation.

L'emploi de la sablière est devenu universel. Il n'y a pour ainsi dire plus de locomotives qui en soient dépourvues.

Il y a une tendance générale à garnir les machines d'un abri dont l'importance varie depuis la forme d'un simple écran à lunettes jusqu'à celle d'une guérite ouverte seulement à l'arrière, vitrée sur l'avant et sur les deux côtés.

Dans la période décennale qui vient de s'écouler, la question des freins a progressé d'une manière sérieuse. La voie vraiment féconde en bons résultats est celle où les inventeurs se sont basés sur le principe de mettre la direction et la manœuvre des freins à la discrétion du mécanicien. Tels sont :

1° Le frein Guérin, aujourd'hui délaissé, mais qui a reçu à une certaine époque un développement considérable ;

2° Le frein Achard, qui a été l'objet d'essais à grande échelle, prolongés pendant longtemps ; et qui a dû son insuccès principalement à la difficulté des communications électriques ;

3° L'addition aux locomotives d'un frein à main énergique, quel que soit son système ; dont l'application a pris une grande extension ;

4° L'invention toute récente des freins à gaz, air ou vapeur, comprimés par les pistons, et qui promet les meilleurs résultats.

Le remplacement du levier à verrous avec secteur à crans, pour la manœuvre du changement de marche, par l'appareil à vis de Kitson, à peine à l'essai, reçoit des applications extrêmement nombreuses, et paraît destiné à se substituer, dans une courte période, aux anciens dispositifs.

Pour faciliter le passage des courbes de petit rayon, qui deviennent de plus en plus fréquentes dans les tracés actuels, on emploie deux systèmes : 1° Châssis rigide avec déplacement latéral des essieux parallèlement à eux-mêmes; 2° châssis articulés. — Le premier système est pratiqué assez largement. Le deuxième l'est beaucoup moins, et, pour ainsi dire, seulement dans des essais.

Pour réaliser le déplacement latéral des essieux on donne, entre les collets des fusées d'essieux qui glissent dans les boîtes, un jeu qui atteint des proportions parfois considérables et qui laisse les essieux flottants.

L'appareil Caillet, destiné à combattre le flottement des essieux qui ont beaucoup de jeu latéral, a reçu un certain nombre d'applications.

La disposition des plans inclinés ajoutés aux boîtes pour atteindre le même but, très-simple, très-solide, paraît offrir une excellente solution, et reçoit des applications importantes.

Les inconvénients qui pourraient résulter des efforts obliques sur les tourillons des bielles d'accouplement, par suite de ces grands déplacements d'essieux, sont amoindris par l'emploi de tourillons sphériques, ou par la double brisure verticale et horizontale de la ligne des bielles d'accouplement, ou par l'emploi simultané de ces deux moyens; ou enfin en laissant aux têtes de bielles sur les boutons un jeu latéral, respectivement égal à celui des boîtes sur les fusées.

Le système des machines à châssis articulés comprend deux séries : Dans la première série sont les machines à deux cylindres, qui transmettent le mouvement aux roues de l'un des châssis seulement (machine américaine et machine St-Léonard); ou, à la fois, à celles des deux châssis par des bielles d'accouplement dites articulées (machine Steyerdorf, exécutée; les deux projets Rarchaërt, inexécutés; projet Gouin, inexécuté). La deuxième série comprend les machines à quatre cylindres actionnant des groupes de roues non reliés entre eux (machine à tender moteur de l'Est, exécutée; projet Boutmy et projet Thouvenot, inexécutés; série des projets Meyer, inexécutés; projet Fairlie).

Le prix des machines locomotives s'est abaissé d'une manière extraordinaire. Celui des tenders s'est aussi abaissé, mais dans une moindre proportion.

Appareils de traction autres que les locomotives. — Cette partie de l'Exposition est pauvre et des plus restreintes. Elle ne contient ou que des projets, système pneumatique Bergeron, Mahovoz; ou les spécimens de systèmes dont l'exécution ne peut être considérée que comme essai : système funiculaire Agudio à rail central, modifié; frein Molinos et Pronnier, appliqué aux véhicules du plan incliné de la Croix-Rousse, à Lyon.

Outillage spécial des ateliers de chemins de fer. — Les ateliers de réparation des chemins de fer comportent à peu près le même outillage que les ateliers de construction générale, et la nomenclature des outils en est à peu près la même. Le nombre des outils spéciaux est très-restreint.

L'Exposition est riche en machines-outils du premier groupe, dont l'étude est du ressort de la dix-septième section de la Société des Ingénieurs civils.

Dans le deuxième groupe, les outils nouveaux que présente l'Exposition sont en nbre très-limité. Ce sont :

1° Le tour à essieux droits de Witworth, pouvant tourner à la fois les deux extré-és d'un même essieu ;

2° La machine Scharp, à tailler les parties arrondies de l'intérieur des jantes de es ;

° La machine Scharp-Stewart, à faire les mortaises, rainures, trous, petites ettes, au moyen d'une fraise. Elle est à deux outils ; peut s'employer avantageu-ient pour les têtes d'une même bielle ;

° La grande machine triple de Graffenstaden, pour découper un paquet de lon-ns pour machines locomotives ;

° La bascule décuple, à ponts et à bâtis métalliques, de M. Sagnier ;

° La petite bascule portative de M. Hartmann, pour le réglage de la charge sur oues des locomotives.

. le Président remercie M. Auguste Bonnet de sa communication, et, après r consulté la réunion, renvoie la discussion de ce travail à une prochaine séance.

n l'heure avancée, la communication de M. Piarron de Mondesir, est renvoyée à ance suivante.

NOTE

SUR LES

PRODUITS A BASE D'ARDOISE COMPRIMÉS

PAVAGES ET DALLAGES DES VOIES PUBLIQUES, DES GRANDS ÉDIFICES ET DES PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES

PAR M. **NOZO**.

Les produits à base d'ardoise pour pavages, dallages, tuyaux pour conduites d'eau, conduites de liquides acides ou alcalins, fabriqués à Nantes et à Ivry-sur-Seine, devront trouver de nombreuses applications, à cause de leurs propriétés spéciales et de leur bon marché relatif.

En présence des résultats déjà obtenus, j'ai pensé qu'une communication à la Société sur ces produits pourrait l'intéresser, et j'ai rassemblé dans une note succincte les renseignements que j'ai pu recueillir sur les applications déjà faites.

Après avoir décrit le mode de fabrication, j'indiquerai les résultats obtenus, et je terminerai par la comparaison des prix avec ceux des produits concurrents.

La grande accumulation des débris d'ardoises qui encombrent les exploitations, a donné à M. Sébille l'idée de former, avec ces débris, des produits nouveaux propres aux constructions.

Pour former les produits à base d'ardoise, on met dans un vase convenable, chauffé par la vapeur à une température régulière, un mélange variable, selon les cas, de détritus d'ardoises, de sable de rivière et de brai sec, le tout préalablement pulvérisé.

Le mélange, toujours maintenu à la même température dans une fabrication continue, descend, pour la production des dalles ou pavés, par exemple, dans des moules qui, une fois remplis, viennent se placer sous l'action d'un piston de presse hydraulique qui comprime la matière à une pression de 170 kilog. par centimètre carré, en lui donnant une cohésion et une densité toujours régulières.

Les dalles ainsi formées sont enlevées de leurs moules, refroidies dans

l'eau et placées sur un lapidaire pour faire disparaître les rugosités de la fabrication, en donnant à la surface visible un certain degré de poli.

La densité des dalles et pavés est de 2.2 à 2.5, les produits sont insolubles dans l'eau acidulée ou alcaline, et la matière ne se ramollit qu'au-dessus de 70°.

Les dalles pour pavages de grands édifices publics ou de propriétés particulières peuvent être illustrées de dessins incrustés dans la matière au moment de la fabrication.

Les dalles et pavés à base d'ardoise présentent une résistance à l'écrasement supérieure à celle des pierres ordinaires. D'après les expériences faites par M. Michelot, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées[1], cette résistance à l'écrasement dépasse 325 kilog. par centimètre carré.

NUMÉROS D'ORDRE.	PROVENANCE ET NATURE DES ÉCHANTILLONS.	LONGUEUR en centimètres.	LARGEUR en centimètres.	HAUTEUR en centimètres.	POIDS du mètre cube. en kilogr.	RÉSISTANCE à l'écrasement par centimètre carré. en kilogr.
1	Cubes à base d'ardoise et brai fabriqués par M. Sébille, à Nantes.	5.0	5.0	5.1	2216	285.45
2		5.0	5.0	5.1	2211	249.40
3		5.0	5.0	5.0	2238	314.25
4		5.1	5.1	5.1	2164	301,71
5		5.0	5.0	5.1	2271	218.91
6		5.0	5.1	5.1	2179	301.59
7		5.1	5.1	5.1	2125	285.27
8		5.0	5.1	5.1	2203	290.01
9		5.0	5.0	5.1	2251	355.84
10		5.0	5.0	5.1	2237	302.95
11		5.1	5.1	5.1	2213	281.60

La pose des dalles à base d'ardoise se fait de la même manière que celle des dalles ordinaires.

On répand d'abord sur le sol une épaissseur de béton de 0m05 à 0m10, sur laquelle on coule une couche de mortier de 0m15 à 0m20. On place ensuite les dalles par rangées, en laissant entre elles de 1 à 2mm, que l'on remplit dans les cas ordinaires avec un lait de ciment ou avec une matière bitumineuse coulée à chaud lorsqu'on veut obtenir une imperméabilité complète du dallage, comme, par exemple, dans les étables ou dans les cours sous lesquelles existent des caves ou des sous-sol.

Les dalles destinées au pavage des écuries, des étables, des cours et de certains établissements industriels, où l'on doit ménager l'écoulement des liquides ou fournir pour les pieds des chevaux une adhérence suffisante, ont leur surface sillonnée de rigoles, de manière à permettre aux liquides de gagner un caniveau collecteur les écoulant au dehors.

1. Résultats des expériences faites par M. Michelot, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Comme le dallage est complétement imperméable lorsque les dalles sont rejointoyées avec de la matière bitumineuse, aucune infiltration n'est possible, aucune fermentation n'est à craindre, conditions hygiéniques précieuses dans bien des cas.

Les stries que présente la face inférieure des dalles contribuent, en multipliant l'adhérence avec le mortier, à former, de l'ensemble des matériaux composant le dallage, un tout aussi homogène et solide que possible.

Les dalles à base d'ardoise se découpent facilement à l'aide d'un burin et du marteau, en se prêtant à toutes les sujétions de pose.

Pour les dallages en quinconce, l'usine livre des dalles portant dans la face inférieure une rainure en diagonale obtenue de moulage assez profonde pour permettre d'opérer facilement la séparation de la dalle en deux parties à l'aide de quelques coups de burin donnés avec soin sur la face supérieure.

Comme applications ayant déjà la sanction de l'expérience, on peut citer :

A Nantes :

Le pavage des écuries de la gendarmerie, en 1863;

Le pavage de l'amphithéâtre de l'Hôtel-Dieu, en 1864;

Le pavage de la salle d'accouchement, en 1864;

Le pavage des magasins et entrepôts de MM. Ravazé et fils, en 1864;

Le pavage de la raffinerie de M. Massion, en 1864;

Le dallage de l'église de Fontevrault (Maine-et-Loire), en dalles illustrées, en 1865;

Le pavage des bouveries et bergeries des abattoirs de La Villette, en 1865-1866;

Le pavage des écuries et cours des hôtels situés autour de l'Arc-de-Triomphe de l'Etoile, en 1867, et divers pavages d'écuries dans Paris, en 1867 et 1868;

Les cours et dessous de porte, Cochin du quartier Cail, faubourg Poissonnière.

Le pavage, partie en dalles illustrées, du grand vestibule et de la galerie d'entrée du palais de l'Exposition universelle de 1867;

Les pavages de trottoirs dans diverses villes en 1864 et à Paris en 1867;

Rue Richelieu, longeant la Bibliothèque, divers îlots des rues Turbigo, Montorgueil, Mauconseil et de la Bienfaisance, en 1867; rues des Ecoles, rue de Valois, du Roule, etc.

Les rapports des jurys des expositions de Nantes en 1861; d'Angers en 1864; ceux des jurys des expositions de Londres 1852, de Paris 1867; une décision de l'ingénieur en chef de la ville de Paris en 1867 accordant aux propriétaires qui emploient les dalles Sébille pour le pavage de

leurs trottoirs la même prime que celle allouée pour le pavage en granit, enfin les attestations de M. le colonel de gendarmerie Montenot de Cordoux [1], de M. Lechalas, ingénieur de la ville de Nantes [2], de M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées E. Duval, attaché à la construction du palais de l'Exposition [3], de M. l'architecte de la ville de Paris, Janvier, chargé de la construction des abattoirs de La Villette [4], et de M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées Gardier, attaché au service municipal, démontrent que les produits à base d'ardoise ont suffisamment acquis la sanction de l'expérience pour prendre une large place dans les constructions et la viabilité.

Les produits à base d'ardoise, dans l'esprit de leur auteur, ne doivent pas avoir uniquement pour débouché dans la viabilité les applications que nous venons de relater, ils doivent s'employer aussi comme pavages de chaussées et bordures de trottoirs. Nous nous réservons de communiquer plus tard à la Société les résultats de ces applications, faites encore sur une trop petite échelle pour permettre de formuler une opinion.

Les produits à base d'ardoise pour tuyaux de conduite de liquides neutres ou acides n'ont aussi été employés que sur une trop petite échelle pour en tirer des conclusions certaines ; toutefois, on peut dire, en outre des propriétés que nous avons signalées, de n'être pas attaquées par les liquides acides ou alcalins, qu'ils résistent à d'assez fortes pressions intérieures et que, ramollis par un chauffage convenable, ils se cintrent facilement sans altération pour prendre toutes les formes que peuvent imposer les sujétions de pose.

Nous donnons, pour Paris, dans le tableau ci-dessous, les prix comparatifs des pavages et dallages à base d'ardoise, avec les prix, par mètre carré, de pavage ou dallage fait avec les matériaux usuels.

1. « Le colonel de gendarmerie Montenot de Cordoux reconnait que le dallage en ardoise comprimée employé dans les écuries de la caserne de gendarmerie de Nantes paraît excellent sous tous les rapports, depuis un an qu'il est établi. — Nantes, le 7 décembre 1864. »

2. « Je certifie que M. Sébille exécute des dallages de trottoirs à base d'ardoise depuis plusieurs années, à Nantes.

« Ces dallages se comportent généralement bien. »

3. Le 5 octobre 1867, M. Duval certifie que les pavages du grand vestibule et de la galerie d'entrée de l'Exposition, « exécutés dans des conditions difficiles, ont donné d'excellents résultats, » qu'ils n'ont éprouvé, malgré une circulation considérable, aucune avarie et que le résultat obtenu est très-satisfaisant.

4. Le 8 octobre 1867, M. Janvier certifie que depuis deux années qu'il a fait paver 4.200 mètres de bouveries et bergeries des abattoirs de La Villette il a obtenu « sur tous les points les résultats les plus satisfaisants. »

Tableau comparatif des prix par applications.

DÉSIGNATION DES APPLICATIONS.	GRANIT.	GRÈS ordinaire.	PAVÉS bleus.	MACADAM.	ASPHALTE naturel.	BITUME factice.	PRODUITS A BASE D'ARDOISE. dalles ordinaires.	dalles illustrées.	pavés.
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Trottoirs et cours (dallage ordinaire).	25.70	14.25	15 »	»	14.50	6.50	12 »	14 »	15 »
Edifices publics (dallage illustré)....	25.70	14.25	15 »	»	14.50	6.50	10 »	14 »	15 »
Etables et certains établissements industriels (dallage imperméable)....	25.70	14.25	15 »	»	14.50	6.50	8 »	14 »	9 »
Pavage des chaussées............	15 »	15 »	16 »	18 »	14.50	6.50	14.50	»	15 »

L'entretien des pavages et dallages appliqués à la voirie comprend différentes espèces de travaux.

1° Des remplacements partiels par suite de ruptures ou d'usure inégale.

2° Des tranchées à ouvrir pour faire certains travaux souterrains tels que pose de conduites d'eau, de gaz, etc.

3° Des remplacements généraux pour cause d'usure.

Les essais trop restreints de pavages de chaussées en produits à base d'ardoise ne permettent pas de donner encore des chiffres comparatifs d'entretien avec les différents modes de pavage usuels.

Il n'en est pas de même pour les applications aux dallages de trottoirs. Dès aujourd'hui, on peut dire que la solidité et l'homogénéité des produits à base d'ardoise garantissent contre tout remplacement partiel pour cause de rupture ou d'usure inégale.

Au point de vue des ouvertures de tranchées, les dallages en produits à base d'ardoise sont dans les mêmes conditions que les dallages en granit, pierre et autres matériaux analogues; toutefois, on peut dire à leur avantage qu'ils n'exigent que l'emploi d'ouvriers ordinaires au lieu d'ouvriers spéciaux lorsqu'il s'agit d'asphalte naturel ou de bitume factice.

Quant aux frais d'entretien pour cause d'usure, ils sont très-minimes, puisque, après trois années de circulation, un rapport de M. l'ingénieur Gardier ne constate qu'une usure insignifiante sur le trottoir de la rue Richelieu.

Les trottoirs en dalles à base d'ardoise paraissent devoir présenter un avantage assez sérieux sur les trottoirs en granit. Tout le monde sait que les trottoirs en granit se polissent par l'usage et deviennent, au bout de quelques années, assez glissants pour qu'il faille retailler leur surface.

Le dallage à base d'ardoise offre aux pieds plus d'assurance et donne une marche moins fatigante.

NOTE

SUR UNE

DISTRIBUTION SANS EXCENTRIQUE A PARALLÉLOGRAMME

ET A COULISSE DROITE

PAR M. DEPREZ.

On sait que la détente variable est produite dans les machines locomotives au moyen d'un seul tiroir à recouvrement actionné par la coulisse Stephenson. La simplicité de ce système l'a fait adopter à l'exclusion des appareils à deux tiroirs, qui donnent cependant une meilleure distribution quand la détente est poussée un peu loin. On a imaginé plusieurs appareils analogues à la coulisse, et qui sont également employés sur les locomotives, mais sont beaucoup moins répandus. Ce sont la coulisse renversée, la coulisse droite d'Allen, la coulisse Sharp et Stewart et le système Walschaert : les deux premiers emploient deux excentriques, tandis que les deux autres n'en emploient qu'un. Tous ces systèmes donnent à peu de chose près les mêmes résultats, quant à la distribution obtenue. Lorsque la détente est poussée un peu loin, les lumières sont très-rétrécies, l'échappement anticipé et la compression ont lieu pendant une portion très-notable de la course du piston. Quoique la gravité de ces inconvénients ait été exagérée, ils n'en sont pas moins réels, et ils ont pour résultat de diminuer la puissance que la machine développerait s'ils n'existaient pas. J'ai cherché à les atténuer sans diminuer la simplicité du mécanisme, et j'ai imaginé pour cela plusieurs appareils qui n'exigent l'emploi d'aucun excentrique. Je vais donner la description et la théorie de deux de ces appareils, qui sont représentés par les figures 1 et 2 (Pl. 5).

Soient BM et MO (fig. 1) la bielle et la manivelle d'une machine supposée au point mort. Sur la bielle et à partir du point B qui représente la crosse du piston, prenons une longueur arbitraire BF, sur laquelle nous construisons un parallélogramme articulé BFDC, dont le côté BC est guidé au point G suivant la verticale qui passe sur le milieu de la course du point B. A l'extrémité C du côté CD parallèle à la bielle est soudée d'équerre une coulisse rectiligne ICH, qui reste dans toutes

ses positions perpendiculaire à la bielle, puisqu'elle est par construction perpendiculaire à CD.

L'extrémité T de la tige TT' du tiroir est articulée à une bielle TL, qui s'articule elle-même en L au milieu d'une bielle KS deux fois plus longue, et dont l'extrémité K peut glisser dans la coulisse au gré du mécanicien, tandis que l'extrémité S est guidée suivant le prolongement de l'axe de la tige TT' du tiroir.

Il résulte de cet arrangement que le tiroir se meut comme la projection orthogonale du mouvement du point K. En effet, si du point L comme centre avec LT pour rayon nous décrivons une circonférence, elle passera par les points T, K, S, à cause de l'égalité des longueurs LK, LS, LT, et la droite KS sera un diamètre ; donc l'angle KTS sera inscrit dans la demi-circonférence, et, par conséquent, sera toujours droit en T, ou, ce qui revient au même, le point T sera toujours la projection orthogonale du point K.

Si maintenant nous supposons la machine placée au point mort, la bielle sera horizontale, la coulisse sera par conséquent verticale, et si on suppose que l'on fasse parcourir au point K toute l'étendue de la coulisse, sa projection T ne subira aucun déplacement, le tiroir restera donc immobile, et l'avance linéaire sera la même pour tous les crans de la détente.

Pour étudier le jeu de cet appareil, nous pouvons faire deux hypothèses : 1° Le coulisseau K est lié invariablement à la coulisse pendant le mouvement de celle-ci. C'est ce qui aurait lieu si la coulisse était remplacée par une vis dont le coulisseau serait l'écrou, disposition très-applicable à une machine fixe à détente variable à la main.

Prenons pour origine le point A, milieu de la course du point B ; pour axe des x, la droite AO ; pour axe des y, la perpendiculaire AG.

Nous pouvons supposer que la coulisse a été amenée dans sa position actuelle par deux mouvements successifs : l'un de translation parallèlement à AG, l'autre de rotation autour du point C. Si nous désignons par

- α, l'angle de la manivelle motrice avec OA,
- β, l'angle de la bielle avec la même droite,
- X, la distance du point B à l'origine,
- x et y, les coordonnées du point K,
- l, la longueur BG,
- l', la longueur GC,
- ρ, la distance CK,
- R, le rayon de la manivelle,
- L, la longueur de la bielle,

le mouvement de translation parallèle à AG a pour expression, étant projeté sur AO,

$$-X\frac{l'}{l},$$

et le mouvement de rotation autour de C

$$-\rho \sin \beta ;$$

mais comme $\sin \beta = \frac{R}{L} \sin \alpha$ (fig. 3), et que $X = R \cos \alpha + (1 - \cos \beta) L$, l'expression du mouvement de la projection du point K devient

$$x = -\frac{l'}{l}\left[R \cos \alpha + (1 - \cos \beta) L\right] - \rho \frac{R}{L} \sin \alpha.$$

Comme la quantité $1 - \cos \beta$ est très-petite, on peut la négliger et écrire

$$x = -\frac{l'}{l} \cos \alpha - \rho \frac{R}{L} \sin \alpha, \qquad (1)$$

ce qui est précisément l'équation du mouvement produit par un excentrique circulaire dont l'angle de calage serait donné par l'expression

$$\text{tang. } \varphi = -\frac{\rho l}{L l'},$$

φ désignant l'angle de calage, et dont le rayon d'excentricité serait

$$R \sqrt{\left(\frac{l'}{l}\right)^2 + \left(\frac{\rho}{L}\right)^2}.$$

Si dans l'équation (1) nous faisons $\alpha = o$, il vient

$$x = -\frac{l'}{l} R,$$

cette quantité $-\frac{l'}{l} R$ exprime donc l'avance totale du tiroir; elle doit être égale à la somme du recouvrement et de l'avance linéaire. Ainsi que cela devait être, elle ne dépend pas de ρ.

L'étude de la distribution est donc ramenée dans ce cas à celle d'une distribution à excentrique, et ne présente par conséquent aucune difficulté.

Dans la deuxième hypothèse que nous pouvons faire, le coulisseau est guidé, à très peu près, suivant une ligne horizontale, le levier de relevage étant très-long et supposé vertical dans sa position moyenne. Nous désignerons par Y l'ordonnée de cette horizontale décrite par le point K.

Pour trouver les équations du mouvement dans ce cas, nous remarquerons que la coulisse est une droite dont nous connaissons un point, le point C, par ses coordonnées, et le coefficient d'inclinaison.

L'équation de cette droite sera donc de la forme

$$y - y' = m(x - x'),$$

y' et x' désignant les coordonnées du point C; mais on a

$$\frac{y'}{AG} = \frac{l+l'}{l} \quad \text{et} \quad AG = \sqrt{l^2 - X^2},$$

d'où

$$y' = \frac{l+l'}{l}\sqrt{l^2 - X^2} \quad \text{et} \quad x' = -X\frac{l'}{l};$$

d'ailleurs

$$m = -\frac{1}{\text{tang.}\,\beta},$$

puisque la coulisse est toujours perpendiculaire à la bielle. Il vient donc

$$y - \frac{l+l'}{l}\sqrt{l^2 - X^2} = -\frac{1}{\text{tang.}\,\beta}\left[x + \frac{l'}{l}X\right],$$

pour l'équation de la coulisse, et si nous voulons trouver l'abscisse du point K, il suffira de chercher l'abscisse du point d'intersection de la coulisse avec l'horizontale dont l'équation est $y = Y$, il viendra

$$x = -\frac{l'}{l}X - \left[Y - \frac{l+l'}{l}\sqrt{l^2 - X^2}\right]\text{tang.}\,\beta.$$

Les équations qui détermineront complètement le mouvement du tiroir seront donc:

$$\left\{\begin{array}{l} \sin\beta = \frac{R}{L}\sin\alpha; \\ X = R\cos\alpha + (1 - \cos\beta)L; \\ x = -\frac{l'}{l}X - \left[Y - \frac{l+l'}{l}\sqrt{l^2 - X^2}\right]\text{tang.}\,\beta. \end{array}\right.$$

Elles permettent de construire une table des valeurs de x en fonction de X, de 5 en 5 centièmes de la course, par exemple.

L'inconvénient de ce système est d'exiger des dimensions considérables pour la coulisse, parce que ses inclinaisons sont trop faibles; voici une autre combinaison où cet inconvénient est évité.

A la crosse du piston (fig. 2) est *soudée* une tige BN, qui forme l'un des côtés d'un quadrilatère articulé BNFP qui, lorsque la bielle est horizontale, devient un trapèze rectangle en F et P, et dont les côtés parallèles sont par conséquent BP et NF. Sur le côté NF, on construit le parallélogramme articulé NFDC, qui fonctionne exactement comme dans l'appareil précédent.

Il est facile de voir que le point F et le point P, en raison du peu d'amplitude du mouvement angulaire de la bielle, auront, à très-peu près, la même excursion linéaire. Il en résultera que NF étant plus petit que BP aura un mouvement angulaire plus considérable. Il en sera donc de même de la coulisse qui reste toujours perpendiculaire à NF.

Je n'insisterai pas davantage sur cet appareil, dont la théorie se déduit très-facilement de celle du premier système, et je termine par une comparaison numérique entre l'appareil que j'ai décrit d'abord et la coulisse de Stephenson. J'ai pris pour terme de comparaison une très-bonne distribution à coulisse renversée, étudiée par M. Polonceau, et citée dans le *Guide du Mécanicien*.

	Appareil nouveau.			Coulisse.		
Durée de l'admission en centièmes de la course..	50	32	22	48	33	22
Durée de la compression id.............	16	25	37	18	25	33
Ouverture maxima des lumières en millimètres...	11	7.5	5	7.7	5	3.7

Le recouvrement extérieur est supposé égal à 17 millimètres ; le recouvrement intérieur, égal à 0, et l'avance linéaire, constante pour tous les crans de la détente, est égale à 3 millimètres. Ces données ont été relevées sur un modèle construit avec soin, et on a ramené les résultats de la distribution à coulisse à ce qu'ils auraient été avec le même recouvrement et la même avance linéaire. On voit que le système proposé donne, à détente égale, des ouvertures de lumières plus grandes d'environ 45 p. 100 que celles qu'on obtient avec la coulisse. Un autre avantage consiste dans la symétrie de la distribution. Pour la marche en arrière, les lumières sont moins ouvertes, à détente égale ; mais l'avance à l'échappement et la compression sont également moindres que la marche en avant.

NOTE

SUR

L'EMPLOI DE LA CONTRE-VAPEUR

PAR EM. **DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ.**

Au sujet de l'emploi de la contre-vapeur pour amortir, et même, *réemmagasiner* la puissance vive des trains, il peut être intéressant de se rendre compte du phénomène mécanique de ces transformations du travail en chaleur, ou réciproquement.

Je viens donc proposer, non pas une théorie compliquée de tout l'attirail de l'algèbre, mais un simple mot, une explication très-suffisante, je crois, dans un certain nombre de cas, qu'il faut cependant savoir (comme toutes les formules ou théories) n'appliquer que dans des limites suffisamment restreintes, et n'accepter que pour un temps, jusqu'à ce qu'une autre théorie meilleure vienne en prendre la place.

J'assimile les molécules des gaz ou vapeurs à des billes élastiques. La puissance vive contenue dans un certain volume de gaz est déterminée par la masse de ces molécules et par l'amplitude et la durée du mouvement oscillatoire, ou plus simplement, par leur nombre, leur masse et leur vitesse : toutes choses que nous ne connaissons qu'implicitement par la *pression*, la *densité*, la *température* et la *quantité de chaleur calorimétrique*.

Considérons, pour réduire le phénomène à sa plus simple expression, une seule bille élastique oscillant normalement entre deux parois parallèles a et b avec une vitesse v. Si l'on fait abstraction des frottements, il n'y a pas de raison pour que l'oscillation ne se continue indéfiniment. A chaque rencontre de la bille avec une des deux parois, la vitesse change simplement de sens, mais non de grandeur, et la puissance vive demeure constante. Si l'on interpose brusquement entre la bille et la paroi b, par exemple, vers laquelle nous supposerons qu'elle se dirige en ce moment, une autre paroi c fixe et parallèle aux deux autres, la bille va osciller encore normalement entre a et c, avec la même vitesse v et par conséquent la même puissance vive; seulement, la course étant diminuée, il y aura augmentation du nombre de chocs de la bille contre la paroi c,

c'est-à-dire *augmentation de pression*. Il s'est donc produit COMPRESSION SANS TRAVAIL, et augmentation de pression.

Si nous supprimons de même brusquement la paroi *c* interposée entre *a* et *b*, les choses reviennent à leur premier état; il y a diminution de pression et DÉTENTE SANS TRAVAIL.

Supposons, en second lieu, que la paroi *b* ne soit plus fixe, et qu'elle cède comme un piston sous l'effort de la bille *m*; le travail reçu par ce piston provient évidemment de la vitesse, c'est-à-dire de la puissance vive de *m;* et pour un même accroissement de volume, il y a une plus grande diminution de pression que dans le cas précédent, parce qu'il produit cette fois DÉTENTE AVEC TRAVAIL. C'est le cas d'un cylindre à vapeur dans son fonctionnement habituel.

Supposons enfin que la paroi *b* se meuve à l'encontre de la bille et se rapproche de *a*; elle devra pour cela développer un certain travail, qui demeurera emmagasiné dans la bille *m* sous forme d'augmentation de la vitesse *v*. Il se produit cette fois COMPRESSION AVEC TRAVAIL. C'est le cas d'un cylindre fonctionnant à contre-vapeur.

Je reviens maintenant sur le phénomène de la détente sans travail, pour dire qu'il se trouve réalisé dans une expérience due à Gay-Lussac[1].

On met dans un calorimètre deux ballons, l'un plein et l'autre vide, unis au moyen d'un robinet. Lorsque l'on ouvre la communication, la température commence par baisser dans le ballon qui se vide et par s'élever dans le ballon qui se remplit; puis elle revient des deux côtés à son premier état, et, l'équilibre une fois établi, on ne constate ni absorption ni émission de chaleur.

Les développements que je viens d'avoir l'honneur d'exposer sont extraits d'un mémoire que j'avais ébauché, il y a plusieurs années déjà; mais d'ailleurs, on peut actuellement trouver une explication très-élémentaire et aussi très-lumineuse des principaux faits de la théorie mécanique de la chaleur, dans trois ou quatre articles publiés vers 1863 dans les *Annales du Conservatoire*, par M. Ch. Laboulaye.

M. Laboulaye est également parti de l'assimilation des gaz à une réunion de corpuscules solides et animés de mouvements vibratoires. Cette assimilation, dont M. Laboulaye attribue l'idée première à Lavoisier, lui permet d'établir une démonstration mathématique et parfaitement simple de la loi de Mariotte. Voilà donc la loi de Mariotte passant dans le domaine de la science purement rationnelle.

Si je cite les démonstrations claires et simples de l'élégant et intéressant travail de M. Laboulaye, il me sera permis de dire que je n'admets pas entièrement, au moins jusqu'ici, toutes les hypothèses formées par l'auteur. Mais ce n'est pas le temps d'examiner ces divergences d'opinion, et je reviens sur ce fait, que l'assimilation des gaz ou vapeurs à une

1. Cette expérience a été répétée par M. Joule.

réunion de billes élastiques ne permet d'établir qu'une théorie insuffisante.

Mais, va-t-on demander, où sont les imperfections et par conséquent les limites de cette théorie ?

En voici plusieurs :

D'abord on fait résider toute la puissance vive dans les molécules : voilà ce qui n'est pas exact, au moins dans un grand nombre de phénomènes, où les physiciens et les géomètres ont été conduits à admettre *nécessairement* l'intervention de ce fluide impondérable, mais doué de puissance vive, que l'on nomme l'éther.

En second lieu, si nous comparons les molécules à des billes élastiques, il sera rationnel d'admettre qu'elles peuvent emmagasiner de la puissance vive à l'état latent : soit par un mouvement de rotation individuelle, soit par un mouvement particulier et intérieur des différents atomes dont ces molécules sont constituées. Toutes ces transformations de chaleur rayonnante ou latente en chaleur statique, et réciproquement ; en un mot, toutes ces transformations de la puissance vive et des différents ordres de mouvement, ne sont d'ailleurs pas plus extraordinaires que la transformation de la chaleur en ces mouvements ou travaux apparents, visibles, qu'on appelle plus particulièrement dans l'industrie *travaux mécaniques*.

Ainsi, l'assimilation des gaz à une réunion de corpuscules élastiques ne doit être considérée que comme une formule symbolique, un simple *mode de représentation*, d'une application commode à l'analyse de certains phénomènes.

Ici se terminent les observations que je devais avoir l'honneur de présenter à la Société. Sans même avoir prétendu esquisser une théorie, j'ai voulu montrer simplement, au sujet de cette ingénieuse *récupération* de la puissance vive des locomotives, dans quel esprit on peut chercher à traiter la question, et combien il serait utile de posséder, sur les transformations réciproques de la chaleur et du travail, une théorie simple et vraiment usuelle, qui serait à la fois une source d'explications satisfaisantes, de perfectionnements et de découvertes.

17 avril 1867.

NOTE

SUR LES

SYSTÈMES DE SIGNAUX

EMPLOYÉS EN ANGLETERRE

POUR

les bifurcations et les grandes gares de chemins de fer

PAR M. GEORGES TARDIEU.

Une des causes les plus sérieuses de rencontres de trains qui peuvent se présenter dans l'exploitation des chemins de fer, est le passage des bifurcations.

Après bien des essais, le règlement le plus généralement employé en France comprend l'adoption des prescriptions suivantes :

1° Les signaux placés à la bifurcation pour la couvrir dans les trois directions qui y aboutissent, sont habituellement tenus à l'arrêt ;

2° Ces signaux sont établis à la bifurcation même (Lyon), ou à une très-faible distance de la bifurcation (Nord, Ouest, Est) ;

3° Les trains doivent passer à la bifurcation à la vitesse d'un homme marchant au pas ;

4° L'aiguilleur ne doit donner passage qu'à un train à la fois et jamais à plusieurs trains simultanément.

On conçoit en effet que si l'un des signaux, couvrant la bifurcation, était éloigné et habituellement effacé, un train pourrait le dépasser à l'insu de l'aiguilleur ; si alors un train d'une autre direction se présente, l'aiguilleur lui donnera passage, et une rencontre sera inévitable ; de là la nécessité de tenir les signaux habituellement à l'arrêt. Par suite il faut les établir aux bifurcations mêmes et très-près des bifurcations, pour ne pas occasionner des retards inutiles.

Mais alors il faut nécessairement que chaque train approche de la bifurcation avec une très-faible vitesse, afin que le mécanicien soit en état de s'arrêter si le signal d'arrêt correspondant à la voie qu'il parcourt est maintenu.

Quant à la condition de ne laisser passer qu'un train à la fois, elle n'est pas absolument nécessaire, et elle n'est imposée que pour empêcher les erreurs que pourrait commettre l'aiguilleur; cette condition peut être supprimée si les signaux de la bifurcation sont munis d'une disposition mécanique empêchant l'aiguilleur d'effacer à la fois deux signaux dont la manœuvre simultanée peut occasionner un accident[1].

Un examen attentif fait voir que les quatre conditions ci-dessus sont nécessaires et suffisantes pour empêcher toute rencontre aux bifurcations, pourvu, bien entendu, que les mécaniciens fassent attention aux signaux.

En fait, ce système fonctionne depuis au moins dix ans sur diverses lignes, et là où il existe, il n'est pas arrivé d'accident à notre connaissance.

Cependant il faut reconnaître qu'il n'est pas sans inconvénients.

A mesure que le réseau des chemins de fer se développe, le nombre des bifurcations augmente. Lorsqu'une bifurcation se trouve à quelques kilomètres d'une grande gare, il est rare qu'on ne retrouve pas à l'entrée de cette grande gare, pour le service des trains de l'embranchement, une disposition de voies équivalant à une bifurcation : s'il faut que les trains ralentissent à chaque bifurcation, il en résulte une perte de temps considérable qui ne peut pas être estimée à moins de deux minutes par bifurcation.

Or, voici le nombre de bifurcations que l'on rencontre aujourd'hui, sauf erreur, sur les lignes ci-après :

Paris à Calais.	10
Paris à Valenciennes	11
Paris à Strasbourg	10
Paris au Havre.	9
Paris à Marseille	16
Paris à Saint-Étienne	8
Paris à Nantes	7
Douvres à Londres par le South-Eastern Ry.	18

On voit que la perte de temps est considérable; elle est bien plus grande encore, si au moment de l'arrivée d'un train de voyageurs à une bifurcation, celle-ci est occupée par un long train de marchandises; car nous avons vu que l'aiguilleur devra refuser le passage au second train survenant, alors même qu'il pourrait les laisser passer tous les deux simultanément sans aucun danger.

Ainsi, le système actuellement suivi en France donne une sécurité

1. Telle est la disposition connue sous le nom *d'appareil Vignier*, du nom de son inventeur, et employée depuis longtemps au chemin de l'Ouest.

complète, mais il allonge d'une quantité sensible la durée des grands trajets, et il occasionne ou peut occasionner des retards inutiles dans la marche des trains.

Le même système de signaux était depuis longtemps employé en Angleterre, mais les nombreuses ramifications du réseau en ont fait sentir les inconvénients bien plus tôt qu'en France.

D'un autre côté, par suite même de cette complication du réseau, les gares principales ont exigé des dispositions de voies très-compliquées, et de là naît une autre cause de dangers.

L'aiguilleur d'une bifurcation protégée par des signaux habituellement à l'arrêt, doit d'abord manœuvrer les aiguilles et ensuite effacer le signal correspondant au train auquel il veut donner passage. Quand la disposition des voies est compliquée, le service de l'aiguilleur devient pénible et dangereux par la nécessité où il est de courir à une distance assez grande pour manœuvrer les aiguilles, puis de revenir à son poste manœuvrer les signaux.

On est alors conduit à avoir deux ou trois aiguilleurs dans le même poste, ou bien à établir plusieurs postes en correspondance entre eux par des disques, des timbres, des sons de corne ou des appareils télégraphiques ; toutes ces dispositions peuvent devenir une cause d'accidents par l'inattention des agents ; de plus elles exigent un personnel assez nombreux, quelque soin que l'on ait de grouper les aiguilles dans un espace aussi peu étendu que possible.

Le problème à résoudre était donc double : il s'agissait d'abord de permettre, avec toute sécurité, le passage en vitesse d'un ou de plusieurs trains aux bifurcations, et ensuite de concentrer dans un poste unique, confié à un seul aiguilleur, la manœuvre des aiguilles ou des signaux d'une gare importante.

Nous allons décrire, au point de vue de l'exploitation, les dispositions adoptées aujourd'hui d'une manière générale en Angleterre, pour satisfaire aux conditions ci-dessus.

Nous dirons ensuite quelques mots des moyens mécaniques assez variables employés pour réaliser ces dispositions.

Le système admis par toutes les compagnies en Angleterre est, comme en France, celui des signaux maintenus habituellement à l'arrêt dans les trois directions.

Une bifurcation est protégée par les signaux ci-après :

1° Deux sémaphores [1] s'adressant dans les deux directions, l'une aux

1. Le sémaphore est un appareil dont l'emploi est général en Angleterre, mais dont la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait seule usage en France ; il se compose d'une colonne en bois, en fonte ou en fer, supportant un ou plusieurs bras mobiles dans un plan vertical perpendiculaire à la direction de la voie, et pour la nuit une ou plusieurs lanternes, pouvant présenter aux mécaniciens des feux à volonté : blancs, verts ou rouges.

trains de la ligne principale, l'autre aux trains de l'embranchement et placés à la bifurcation même ;

2° Trois signaux manœuvrés à distance, qui sont tantôt des sémaphores, tantôt des disques, ce qui vaut mieux pour établir une différence avec les signaux de bifurcation. Ces signaux sont installés à une distance modérée des bifurcations, c'est-à-dire à 600 ou 800 mètres, de manière à protéger la bifurcation, mais non pas l'arrière des trains stationnant sur les voies principales en avant de la bifurcation, en attendant que l'aiguilleur leur donne passage.

Les signaux à distance étant ainsi à une distance modérée, peuvent être laissés habituellement à l'arrêt sans occasionner de trop longs retards aux trains qui les trouvent fermés.

Le signal du côté où les trains ont à rencontrer une aiguille en pointe est généralement manœuvré par deux transmissions : l'une sert à effacer le signal pour les trains de la ligne principale, l'autre sert à l'effacer pour les trains de l'embranchement[1].

En outre de ces signaux, l'aiguilleur a en général au moins deux changements de voie à manœuvrer. Le plus souvent il a de plus à manœuvrer à l'aide d'un seul levier les deux branchements d'une communication entre les voies principales. Il a donc en tout onze leviers à sa disposition, savoir : quatre leviers de sémaphore habituellement tenus à l'arrêt, quatre leviers de signaux à distance habituellement tenus à l'arrêt, trois leviers d'aiguille habituellement disposés pour le passage sur la ligne principale.

Le poste de l'aiguilleur est établi sur une construction en charpente dans le voisinage de la bifurcation, et en général à 5 ou 6 mètres au-dessus du niveau du rail ; quand l'espace fait défaut latéralement, on construit au-dessus du chemin de fer un pont qui supporte le poste de l'aiguilleur et les sémaphores.

Dans l'intérieur du poste sont établis les leviers que l'aiguilleur a à manœuvrer : ces leviers sont absolument semblables à des leviers de changement de marche de locomotive : ils se distinguent les uns des autres par leur couleur et par des plaques en cuivre gravées indiquant leur destination ; à l'aide des dispositions mécaniques dont nous parlerons plus loin, on peut avec ces leviers manœuvrer des changements de voie situés à 200 mètres du poste d'aiguilleur. Mais il résulte de ce système

Un mécanicien s'approchant d'un sémaphore, n'a à s'occuper que des bras situés à gauche du mât ; les bras situés à droite s'adressent aux trains circulant en sens contraire.

Le bras horizontal ou le feu rouge commande l'arrêt.

Le bras incliné vers le bas ou le feu vert commande le ralentissement.

Le bras vertical ou le feu blanc commande le libre passage.

Ce dernier signal n'est pas donné en général par les sémaphores des bifurcations.

1. Une disposition analogue ou plutôt inverse a été appliquée, en France, au chemin de Lyon, et depuis aux chemins de l'Est et de l'Ouest, sous le nom de *signaux à deux transmissions*.

que les trains ne doivent jamais manœuvrer les changements par le talon[1]; il faut donc que les signaux de libre passage ne soient donnés aux trains abordant les changements par le talon qu'après avoir manœuvré les aiguilles dans la direction convenable. Il va sans dire que cette même condition est de rigueur pour les changements pris en pointe.

D'un autre côté, un aiguilleur ayant à manœuvrer, dans un espace restreint, un nombre souvent considérable de leviers, serait bien plus exposé à se tromper qu'avec le système usité en France. Si donc on n'avait pas un moyen certain d'empêcher les erreurs de l'aiguilleur, le système serait impraticable; mais on empêche ces erreurs à l'aide d'appareils d'enclanchement qui pourraient être des appareils Vignier et qui sont disposés de telle sorte que :

1° L'aiguilleur ne peut effacer les signaux qui doivent donner libre passage à un train qu'après avoir convenablement disposé les aiguilles de tous les branchements que ce train doit franchir;

2° L'aiguilleur ayant donné à ce train le signal de libre passage, ne peut plus manœuvrer les branchements que ce train doit franchir sans avoir remis à l'arrêt ses signaux;

3° L'aiguilleur ne peut pas effacer à la fois deux signaux dont la manœuvre simultanée peut causer une rencontre de trains.

Dans le cas de la bifurcation la plus simple de deux lignes à double voie, et en adoptant pour les leviers que l'aiguilleur a dans son poste les désignations indiquées au croquis ci-dessous, les enclanchements devront satisfaire aux conditions ci-après :

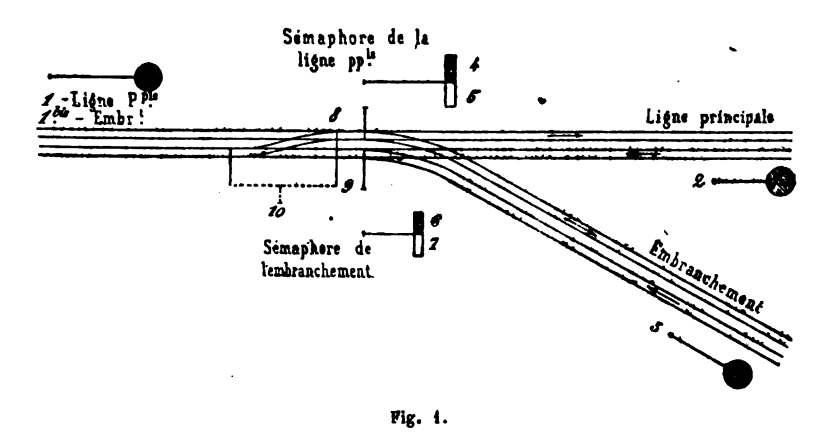


Fig. 1.

1. D'aucune manière on ne pouvait conserver la manœuvre des changements par le talon; en effet, des mouvements très-brusques auraient été imprimés à ces longues tiges de transmission, qui y auraient très-difficilement résisté; de plus les leviers de manœuvre, étant concentrés dans un espace restreint et dans le poste même, auraient pu, par leurs mouvements subits, blesser gravement l'aiguilleur.

1	Enclanche.	8 et 10 sur la voie principale.
1 *bis*	Enclanche.	8 sur l'embranchement et 10 sur la voie principale.
2	Enclanche.	8, 9 et 10 sur les voies principales.
3		9 sur l'embranchement et 10 sur les voies principales.
4		8 et 10 sur la voie principale.
5		8, 9 et 10 sur les voies principales.
6		8 sur l'embranchement et 10 sur les voies principales.
7		9 sur l'embranchement et 10 sur la voie principale.
8	sur l'embranchement enclanche 4, 5, 1 et 2.	
	sur la voie principale enclanche 1 *bis* et 6.	
9	sur l'embranchement enclanche 2 et 5.	
	sur la voie principale enclanche 3 et 7.	
10	sur la communication enclanche 1, 1 *bis*, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.	

Toutes choses étant ainsi disposées, l'aiguilleur attend qu'il aperçoive le train de loin ou que ce train lui soit signalé par les appareils électriques de la gare précédente.

Ces appareils, du système Tyer ou d'un système analogue, sont établis sur toutes les lignes aux abords de Londres, dans un rayon de cinquante milles, sans exception. Ils sont placés dans le poste de l'aiguilleur et manœuvrés par lui ou par un enfant quand le service est très-chargé.

Ces appareils indiquent à l'aiguilleur, par le nombre de coups de sonnerie, la nature du train et sa direction.

Dès que, d'une manière ou d'une autre, l'aiguilleur a connaissance de l'approche du train, il manœuvre les leviers correspondants, et il attend. le train trouvant, à son arrivée à la bifurcation, les signaux effacés, passe sans ralentir ou avec un faible ralentissement.

Si, en ce moment, un second train survient, l'aiguilleur cherche à lui donner passage, et alors, de deux choses l'une : ou l'aiguilleur trouve ses leviers libres, et il peut les manœuvrer, ou il en trouve un ou plusieurs enclanchés, et il est obligé d'attendre, pour donner passage au second train, que la bifurcation soit dégagée. Dans ce cas, le second train est obligé de s'arrêter à la bifurcation, et il attend, pour se remettre en marche, que l'aiguilleur lui donne passage à l'aide du signal de ralentissement du sémaphore correspondant à la voie qu'il parcourt.

Lorsqu'un train stationne ainsi sur la voie en avant d'une bifurcation, il n'est pas, en général, suffisamment protégé à l'arrière contre les trains qui le suivent, ou du moins il ne l'est que par les appareils électriques, là où ces appareils existent. C'est là le point faible de cette organisation.

1. ....En approchant des bifurcations, les mécaniciens doivent siffler pour annoncer leur arrivée à l'aiguilleur et ils doivent réduire leur vitesse de manière à pouvoir, au besoin, arrêter leur train avant les aiguilles de croisement, ce qu'ils doivent faire si le signal de libre passage ne leur est pas présenté..... *Extrait du Règlement général du L. et North-Wersiern Ry*, du 18 mai 1860.

cela n'a pas grand inconvénient en Angleterre où les trains sont généralement assez courts : avec les longs trains employés en France, il faudrait, dans chaque direction, un signal à distance assez éloigné pour couvrir l'arrière d'un train arrêté à la bifurcation.

Telle est, en général, l'organisation du système des signaux dans les bifurcations les plus simples ; mais on rencontre, dans beaucoup de gares, des systèmes beaucoup plus compliqués, et c'est là que la concentration des leviers d'aiguilles et de signaux dans un seul poste devient très-avantageuse.

L'exemple le plus frappant est celui de la gare de Cannon-Street établie pour faire pénétrer dans la cité les trains du South-Eastern Railway. Cette gare est une gare de rebroussement à laquelle aboutissent deux voies d'arrivée et deux voies de départ. Il y a, en outre, une cinquième voie réservée au mouvement des machines. Sous la halle se trouvent neuf voies dont huit peuvent servir indistinctement au départ ou à l'arrivée des trains, quelles que soient leur destination et leur provenance.

Les aiguilleurs sont établis dans un poste porté sur une passerelle supérieure en fer, au point où les voies commencent à se ramifier. Ils ont à manœuvrer 67 leviers, savoir :

36 de sémaphores,
8 de signaux à distance,
23 de changements de voie.

Le service est fait par deux aiguilleurs pendant le jour, et un seul pendant la nuit ; leur temps de service est de douze heures ; ils sont assistés par un ou deux enfants qui manœuvrent les appareils télégraphiques et inscrivent les heures de passage des trains et les heures auxquelles les signaux électriques correspondants sont donnés ou reçus.

Le résultat obtenu d'une telle organisation est le suivant : on a pu, en trente-cinq minutes, donner passage à trente-cinq trains ou machines entrant dans la gare ou en sortant.

Je citerai encore la station Victoria commune aux Compagnies Brighton R^y et du London-Chathams an Dover R^y.

Il y a deux voies d'arrivée et deux voies de départ, mais toutes les voies de la gare peuvent servir au départ ou à l'arrivée des trains ; de plus, comme il vient dans cette gare des trains du Great-Western, toutes les voies sont posées avec trois files de rails ; enfin les voies établies sur un espace très-restreint sont comprises entre des murs de soutènement qui ne laissent qu'un accotement très-étroit.

Une toiture générale couvre la gare et les voies sur près d'un kilomètre de longueur pour empêcher que la vapeur des machines n'effraye les chevaux dans les rues qui longent ou traversent la ligne. La fumée

s'amasse sous cette toiture et y produit quelquefois une obscurité très-grande.

Dans ces conditions le service des aiguilleurs aurait été très-dangereux sans cette concentration de leviers dans deux postes d'où les aiguilleurs n'ont jamais à sortir.

Nous avons cité deux gares, mais il y en a, à Londres même, beaucoup d'autres de la même importance où des dispositions analogues sont adoptées : sans ces dispositions, on n'aurait jamais pu assurer la circulation de trains aussi nombreux avec un personnel aussi restreint, et en donnant aux trains et au personnel une sécurité aussi grande.

Nous allons décrire maintenant les dispositions des appareils généralement employés à Londres pour communiquer le mouvement aux aiguilles et aux signaux.

Nous avons dit que les leviers de manœuvre diffèrent fort peu des leviers de changement de marche de locomotives.

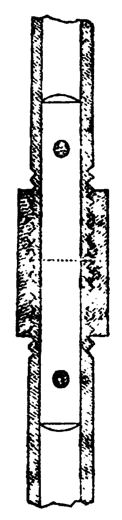
Pour les signaux, il faut que le point d'attache du fil de transmission sur le levier ait une course suffisante, condition qui est assez facilement réalisée; la tension du fil est équilibrée par un contre-poids fixé au levier de manœuvre. Les transmissions sont, en général, assez mal disposées; elles sont formées de petits câbles en fil de fer beaucoup trop forts et trop lourds.

Les appareils de compensation font généralement défaut, ce qui donne lieu à un très-mauvais fonctionnement des signaux ; il serait très-facile d'appliquer à ces signaux, et sans rien changer aux leviers de manœuvre, soit la compensation Robert au milieu du fil, soit le système de dilatation libre, en usage aux chemins de Lyon et de l'Est, soit enfin le système des transmissions à deux fils.

Il faut seulement remarquer une disposition souvent adoptée et qui consiste à faire passer les transmissions de signaux en l'air, au-dessus des trains, de manière à les soustraire à toutes les causes de dérangement auxquelles elles sont exposées dans le voisinage du sol. Cette disposition est toute naturelle avec la position élevée des postes d'aiguilleur et elle simplifie les transmissions. Pour éviter de multiplier les poteaux de support, le fil de transmission est supporté de distance en distance par de petites poulies fixées à un fil de suspension établi au-dessus du fil de transmission. Cette disposition est d'ailleurs en usage depuis fort longtemps au chemin de Lyon.

Un problème plus difficile était la manœuvre à distance des changements de voie. On emploie pour cela des tringles en fer creux, de 0m.0?? de diamètre extérieur et de 0m.005 d'épaisseur, supportées à des intervalles de 3 mètres par des galets en fonte de 0m.120 de diamètre. Ces

tringles sont assemblées entre elles bout à bout par des manchons taraudés et par des goujons rivés suivant les dispositions indiquées au croquis ci-contre.



Ces tringles s'attachent d'un bout aux aiguilles des changements et de l'autre aux leviers de manœuvre A (fig. 3, pl. 5). La position du levier étant rendue invariable par le verrou B du secteur, les variations de longueur produites dans les tringles par les changements de température auraient pour effet de déplacer les aiguilles. On prévient cet inconvénient à l'aide de balanciers compensateurs C (fig. 5). La tringle D est reliée à l'aiguille et la tringle E au levier de manœuvre. Si le balancier est placé au milieu de la transmission, les dilatations de la tringle C et de la tringle D seront sensiblement égales[1]; le balancier tournera d'une certaine quantité, mais les aiguilles ne se déplaceront pas; il faut pour cela que les transmissions soient, sur toute leur longueur, abritées du soleil par des boîtes en bois, et que le balancier compensateur soit très-rigoureusement au milieu de la longueur de la transmission. Pour les transmissions très-longues, et afin d'éviter un déplacement angulaire trop considérable du balancier, on établit deux ou trois balanciers compensateurs sur la longueur de la transmission. On remarquera que dans le mouvement des aiguilles une des parties de la transmission travaille à la compression et l'autre à la traction; il résulte de cela plusieurs avantages. D'abord on a soin de donner au levier de manœuvre cinq ou six millimètres de course de plus qu'aux aiguilles; cela suffit pour déterminer une légère flexion dans les tringles soumises à compression, et pour remédier à l'usure et au jeu qui existent ou qui peuvent se produire dans les articulations; d'autre part si un mécanicien, forçant les signaux, aborde le changement par le talon alors que les aiguilles sont mal disposées, la tringle qui travaille à compression se trouve faussée, et il ne se produit pas d'autres dégâts dans l'appareil.

On a essayé au South-Eastern Ry de renchérir sur cette disposition en établissant sur les tringles un ressort spiral cédant facilement à la pression des roues des machines, mais cette disposition est très-mauvaise; si, en effet, une pierre ou un fragment de coke est interposé entre l'aiguille et le rail entaillé, le ressort cédera, et l'aiguilleur ne sera pas averti du mauvais fonctionnement des aiguilles. Avec des tringles rigides, au contraire, le moindre objet interposé entre le rail contre-aiguille et l'aiguille empêche que le verrou du levier de manœuvre puisse

1. C'est le même principe que dans la compensation Robert, appliquée aux fils de signaux.

arriver dans son encoche ; l'aiguilleur est ainsi immédiatement averti du mauvais fonctionnement des aiguilles. De plus, le levier de manœuvre n'étant pas à fin de course, les leviers de signaux restent enclanchés, et l'aiguilleur est dans l'impossibilité de donner aux trains le signal de libre passage.

Il nous reste à parler des appareils d'enclanchement qui sont absolument nécessaires avec cette concentration d'un aussi grand nombre de leviers dans les mains d'un seul homme.

Ces appareils sont assez variés comme dispositions ; on en trouve qui se rapprochent beaucoup des appareils Vignier ; nous citerons ici seulement ceux de MM. Stevens et Ce, constructeurs de Londres, de M. F. Brady, ingénieur du South-Eastern, et surtout ceux de MM. Saxby et Farmer, de Londres, qui sont les plus répandus de tous et qui ont l'avantage de tenir fort peu de place. Ceci est une considération importante quand on a un grand nombre de leviers dans le même poste. Ce sont ces derniers appareils que nous allons décrire.

Chacun des leviers de manœuvre, quel que soit son usage, le levier A_1, par exemple, est relié par une bielle F_1 et une manivelle G_1 à un arbre vertical H_1 qui, par une came K_1 (fig. 4), transmet un mouvement de glissement longitudinal à une tringle horizontale L. Cette tringle est munie de goujons M_1, M_1', M_1'', M_1''', qui impriment un mouvement d'oscillation à des pièces de tôle N_1, N_1', N_1'', N_1''', mobiles autour d'axes verticaux O, O', O'', O'''. Ces pièces de tôle présentent des talons T qui viennent arrêter les leviers de manœuvre, que le levier A_1 doit enclancher. Un autre levier, le levier A, par exemple, présenterait une disposition semblable.

Le système de l'appareil reste toujours le même, quel que soit le nombre des leviers ; le nombre des arbres verticaux et des tringles horizontales augmente seul. Quant aux pièces de tôle N, leur nombre et leur disposition sont essentiellement variables et dépendent des conditions d'enclanchement que l'appareil doit réaliser pour assurer la sécurité des trains.

Telles sont les dispositions aujourd'hui adoptées d'une manière tout à fait générale sur les chemins de fer anglais. Ces installations compliquées sont assez coûteuses de premier établissement, mais elles offrent des avantages considérables pour le service des bifurcations et surtout des grandes gares ; elles permettent de faire passer plusieurs trains à la fois, presque sans ralentissement ; elles donnent au public une grande sécurité ; elles diminuent le nombre des aiguilleurs et elles garantissent ceux-ci des intempéries et surtout des dangers auxquels ils sont exposés en circulant sur les voies au milieu du mouvement des trains.

NOTE

SUR LE

SERVICE DE TRACTION

DES CHEMINS DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE

ET

EN PARTICULIER SUR L'EXPLOITATION DU SEMMERING ET DU BRENNER EN 1867

PAR **M. A. GOTTSCHALK.**

M. le Président de la *Société des Ingénieurs civils* m'ayant exprimé le désir qu'il avait de me voir continuer les communications annuelles de mon prédécesseur, M. Desgranges, sur le service du matériel et de la traction des chemins du sud de l'Autriche, et en particulier sur l'exploitation du Semmering, je me rends d'autant plus volontiers à cette invitation que j'y suis encouragé par le bon accueil fait par la Société aux travaux de mon prédécesseur.

Je compte d'autant plus sur la continuation de cette bienveillance que les questions de traction en fortes rampes deviennent de jour en jour plus importantes, et que de leur solution économique dépend l'avenir d'une foule de chemins secondaires, et de chemins d'intérêt local, dont l'exécution préoccupe en ce moment, pour ainsi dire, toute l'Europe.

Or, le réseau du sud de l'Autriche ne le cède à aucun autre au point de vue des difficultés de traction, et l'ouverture de la ligne du Brenner qui franchit les Alpes à la côte de 1,367 mètres, jusque-là inconnue en exploitation, vient donner un intérêt tout nouveau à l'étude de ces questions.

Toutefois, la ligne du Brenner n'ayant été ouverte que le 24 août, et toute la fin de l'année 1867 ayant, pour ainsi dire, été employée à l'organisation du service de traction et des ateliers, il me sera impossible de donner pour cette période des résultats précis, et je me contenterai, pour le moment, de quelques appréciations sur le travail des machines, remettant à l'année prochaine le parallèle intéressant qui pourra être

fait entre les frais de traction du Brenner et ceux du Semmering, et leur comparaison avec ceux des autres sections du réseau.

J'aurais pu également renvoyer à l'année prochaine la communication des résultats obtenus au point de vue de la traction, tant au Semmering que sur l'ancien réseau du Sud de l'Autriche en 1867, d'autant plus que ces résultats n'appartiennent à mon administration que depuis le 1er septembre dernier; mais, d'une part, je voulais répondre immédiatement à un désir exprimé par notre Président, et, d'autre part, j'ai pensé qu'il valait mieux ne pas laisser une lacune dans la suite des communications qui ont été faites régulièrement chaque année à la Société sur le même sujet.

Pour ne pas être exposé à des répétitions, et comme notamment la question des frais de traction et d'exploitation du Semmering a déjà été envisagée sous toutes ses faces par mon prédécesseur, je me dispenserai d'entrer dans beaucoup de détails et me contenterai de joindre à la présente note quelques tableaux qui résument les résultats obtenus en 1867 en les comparant à ceux des années précédentes.

Ligne principale de Vienne a Trieste et ses embranchements.

Le premier de ces tableaux est un état comparatif des dépenses de traction et d'entretien du matériel comprenant les résultats obtenus de 1860 à 1867 sur la ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements sur la Hongrie, la Carinthie, la Croatie et l'Italie.

La progression décroissante que ces dépenses avaient suivie jusqu'en 1866 ne s'est maintenue que pour les dépenses de combustible et de graissage des machines. Toutes les autres ont subi une légère augmentation, à laquelle on s'était du reste attendu depuis le commencement de l'année 1867.

L'augmentation des dépenses de conduite des machines et celle des frais généraux s'expliquent tout naturellement par une diminution dans le parcours des trains, qui a été de 7,362,289 kilomètres en 1867 au lieu de 7,801,582 en 1866.

L'augmentation sensible des frais de réparation du matériel se justifie par ces trois raisons principales : que le matériel n'est pas encore entré dans la période des réparations normales ; qu'en outre, vu son insuffisance relative, il avait été soumis, pendant les transports militaires exceptionnels de 1866, à une très-grande fatigue qui s'est traduite dans les premiers mois de 1867 par des frais de remise en état considérables, et qu'enfin, par suite de l'impulsion donnée à la construction des lignes nouvelles et de l'essor pris par l'industrie métallurgique nationale, les prix de matières et de main-d'œuvre ont subi, en 1867, une augmentation importante.

Il est bon de noter encore une dernière cause qui est venue augmenter

très-sensiblement les dépenses, en créant à l'exploitation des obstacles inconnus jusque-là dans la proportion où ils se sont manifestés : je veux parler de l'hiver exceptionnellement rigoureux de cette année et des interruptions dues à la grande quantité de neige tombée et amoncelée dans les tranchées par le vent. L'une de ces interruptions a duré dix-huit jours consécutifs et est venue arrêter, du jour au lendemain, pendant plusieurs semaines, la grande exportation des blés de Hongrie.

Quoi qu'il en soit, les frais de traction et de réparation du matériel ressortent, en 1867, à 0f.97 par kilomètre de train. Ce résultat, qui accuse une réduction de près de 68 pour 100 sur les dépenses de traction au moment où M. Desgranges a pris le service, fait le plus grand honneur à cet ingénieur, et est d'autant plus digne de remarque que les lignes exploitées sont loin de se trouver dans les conditions ordinaires, et qu'elles présentent des courbes de faible rayon et des déclivités fréquentes de 0m.006 à 0m.008, sans compter les rampes de 0m.010 à 0m.015 du Karst et celles de 0m.025 du Semmering. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter les yeux sur les profils.

Semmering.

Les tableaux nos 2, 3 et 4 résument les résultats obtenus par la traction du Semmering pendant l'année 1867, et les comparent avec les résultats analogues des années précédentes.

Les augmentations des différents chapitres de dépenses en 1867, sur les dépenses correspondantes de 1866, s'expliquent par les raisons déjà précédemment données pour la ligne principale.

Le parcours total des trains a été en effet de 392.431 kilomètres en 1866, tandis qu'en 1867 il n'était plus que de 329,907 se répartissant comme suit :

1° Trains de voyageurs, remorqués par des machines à six roues couplées	89,705
2° Trains de marchandises, remorqués par des machines à huit roues couplées	240,202
Total égal	329,907

Les augmentations des frais généraux et des dépenses de conduite trouvent leur explication naturelle dans cette diminution de parcours.

Le matériel, et notamment les machines spéciales du Semmering qui avaient été surmenées en 1866, pour satisfaire à un trafic qui avait atteint jusqu'à 86 trains par jour, et qui n'avaient pas été réparées pendant la période des grands transports, ont dû être remis en état en 1867.

Enfin, l'augmentation des dépenses de combustible s'explique par un concours simultané de circonstances, telles qu'interruption de l'exploitation par suite des encombrements de neige, inondation des mines,

hiver rigoureux, qui ont donné lieu, au mois de décembre dernier, à une véritable disette de combustible dans toute l'Autriche, et qui nous ont forcés à aller chercher dans la Silésie prussienne un combustible très-cher et de qualité relativement inférieure aux lignites de Léoben que nous employons d'ordinaire, à l'exclusion de tout autre pour les machines du Semmering.

Malgré ces circonstances, éminemment défavorables, les dépenses de traction de 1867 sont cependant restées inférieures à celles de 1865.

Le prix de traction ressort en effet pour un train de voyageurs traversant le Semmering en une fois, à. 1f.666

Pour un train de marchandises traversant le Semmering en deux fois, à . . . . 3 ,332

donnant sur les résultats des premières années d'exploitation, alors que les machines n'avaient pas encore subi de transformation, une réduction de 61 pour 100.

Les dépenses d'entretien de la voie du Semmering ont atteint, en 1867, la somme de 279,192f.50, y compris les frais de surveillance, ce qui correspond à une dépense de 0f.846 par kilomètre de train.

En appliquant au Semmering, par comparaison avec ce qui s'est fait les années précédentes, les dépenses moyennes du service du mouvement et de l'administration générale, on trouve pour les dépenses totales de l'exploitation du Semmering en 1867, comparées avec celles du réseau entier, les résultats consignés au tableau ci-joint, n° 5.

LIGNE DU TYROL.

A partir de 1867, les lignes de la Vénétie qui avaient fait jusque-là partie du réseau sud autrichien, ont été rétrocédées au réseau de la Haute-Italie. La section du Tyrol sud qui s'étend de Botzen à la frontière italienne, sur 109 kilomètres, et qui, au point de vue de l'exploitation, avait fait partie du groupe de la Vénétie, a dû par conséquent être exploitée isolément, comme cela avait d'ailleurs eu lieu depuis nombre d'années pour la section du Tyrol nord, qui s'étend sur 74 kilomètres de Kufstein à Innsbruck.

Les résultats obtenus sur ces deux tronçons de la ligne du Tyrol, séparés par la section du Brenner et exploités isolément jusqu'au 24 août, ne sauraient donc être pris en sérieuse considération. Nous nous contenterons de dire que les dépenses de traction y ont atteint une moyenne de 1f.065 par kilomètre de train jusqu'à la mise en exploitation de la section du Brenner. A partir de cette époque, ces dépenses ont sensiblement diminué par suite du développement instantané du trafic; mais, ainsi que nous le disions au commencement de cette note, l'influence apportée dans les dépenses par les difficultés de l'organisation du

service sur le Brenner ne permet pas de donner de résultats suffisamment certains pour les quatre derniers mois de l'année 1867.

BRENNER.

La section du Brenner, qui s'étend d'Innsbruck à Botzen, sur 125 kilomètres a été décrite à la Société par les soins de M. Nordling, dans la séance du 17 mai 1867. MM. les membres de la Société peuvent se reporter à cette intéressante communication pour avoir une juste idée de cette ligne gigantesque, destinée à devenir une des principales voies de transit du nord au midi de l'Europe et une des grandes routes de l'Orient.

En se reportant au profil en long joint à cette note, on voit qu'au point de vue de traction, cette ligne peut se diviser en deux sections bien distinctes, l'une d'Innsbruck à Brixen présentant des déclivités de $0^m.0225$ et $0^m.025$, et l'autre de Brixen à Botzen ayant des déclivités variables, mais ne dépassant pas 0.015. Cette considération et le désir d'utiliser complétement la puissance des machines, ont conduit à placer à Brixen, c'est-à-dire au pied des grandes rampes du Brenner, le dépôt des grosses machines à huit roues, destinées à remorquer les trains de marchandises entre Brixen et Innsbruck.

Contrairement à ce qui se passe au Semmering où les courbes à très-petits rayons nous obligent à partager les trains en deux parties et par conséquent à exécuter dans les gares situées de part et d'autre du faîte, au pied de la rampe, des manœuvres très-coûteuses pour le classement des wagons à freins, nous avons été autorisés à passer les trains arrivant aux pieds des rampes du Brenner en une fois, avec une machine en tête et l'autre en queue. Au sommet de la rampe les deux machines se mettent en tête du train pour descendre.

Nous avons eu grandement à nous louer de cette disposition qui ménage les attelages et donne toute sécurité; et c'est en partie à cette mesure que nous attribuons d'avoir pu jusqu'ici éviter le plus petit accident, malgré un hiver des plus rigoureux, accompagné de beaucoup de neige, et malgré toutes les difficultés inséparables d'un commencement d'exploitation.

Les dix machines à huit roues couplées construites spécialement pour le Brenner, sur les plans de la Compagnie, nous ont donné dès le début d'excellents résultats.

La moyenne du poids brut des trains remorqués, comme il vient d'être dit, pendant le mois de novembre, dans le sens de Brixen à Innsbruck, a été de 300 tonnes, et la charge maxima de 356 tonnes.

Pendant le mois de décembre, les résultats correspondants ont été de 295 et 369 tonnes.

D'après l'expérience faite cet hiver, nous comptons que chacune de

ces machines peut remorquer, à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure, 125 tonnes sur mauvais rail, 150 sur rails ordinaires, et près de 200 sur bon rail, sur des rampes de 0.025.

Pour le travail et la vitesse réalisés, la pression réelle de la vapeur est de huit atmosphères et peut être très-facilement maintenue entre sept et huit atmosphères, en pleine marche, la longueur d'admission étant en moyenne de 0.42 de la course.

Dans les conditions précédemment définies, ces machines ont consommé en hiver de 500 à 550 litres d'eau par kilomètre à la montée, en brûlant en moyenne pour la montée et la descente l'équivalent d'environ 19 kilogrammes de houille par kilomètre.

Comme on charge fort peu le foyer dans le sens de la pente, on peut dire que ces machines brûlent en rampes une quantité de combustible qui correspond à 32-35 kilogrammes de houille par kilomètre. Les combustibles que nous employons au Brenner sont le lignite de Sagor et le charbon de Pilsen.

Le premier nous vient des mines de la basse Styrie, et sa puissance calorifique est environ 57 p. 100 de celle de la houille; le charbon de Pilsen nous arrive de Bohême par la Bavière : c'est un charbon léger dont la puissance calorifique représente environ 75 p. 100 de celle de la houille et qui n'en diffère que parce que, par une bizarrerie de la nature, ces gisements n'ont pas subi la même compression de la part des terrains encaissants.

Nous ne pouvons pas encore nous prononcer sur le coût des réparations des machines du Brenner; il paraît cependant positif que grâce aux plus grands rayons de courbure de la voie, dont le minimum est 285 mètres, nous aurons moins d'usure de bandages qu'au Semmering. Le jeu laissé à l'essieu d'arrière des machines du Brenner est de 0m.015 de chaque côté, tandis que le jeu correspondant des machines du Semmering atteint 20 millimètres.

En résumé, nous avons lieu jusqu'à présent d'être satisfait de ces machines, et nous croyons ne pouvoir mieux faire que de joindre à la première note un état de leurs dimensions principales.

Les trains de voyageurs entre Innsbruck et Botzen se font avec des machines à marchandises à six roues couplées de 1m.265 de diamètre. Nous n'en parlerions pas sans une circonstance sur laquelle nous croyons devoir attirer l'attention des membres de la Société. Les machines primitivement destinées à faire ce service étaient des machines à six roues couplées de 1m.400 qui avaient servi précédemment à faire des trains-postes fortement chargés sur le Karst et qui avaient jusque-là parfaitement fonctionné. D'après les dimensions et le poids de ces machines, d'après le travail qu'elles avaient fait précédemment et l'expérience du Semmering, on avait lieu de penser qu'elles pourraient facilement remorquer des trains de voyageurs pesant 100 tonnes, à la vitesse de

22 à 23 kilomètres à l'heure, sur les rampes de $0^m,025$ du Brenner; mais dès les premiers jours ces machines se montrèrent tout à fait insuffisantes, et on fut forcé, pour éviter des retards considérables, de les remplacer par des machines ordinaires à marchandises ayant même surface de chauffe, mêmes dimensions de cylindres, mais des roues de diamètre plus petit.

Les machines en question furent exclues du service de la grande rampe et employées aux trains de marchandises entre Botzen et Brixen. Là encore elles ne répondirent pas à ce qu'on était en droit d'attendre d'elles, d'après le travail qu'elles avaient accompli sur le Karst.

En cherchant, parmi les causes étrangères à la machine même, la raison de cette diminution de l'effet utile, on fut conduit à se demander si la diminution très-sensible d'adhérence de ces machines n'était pas due à la dureté plus grande des surfaces mises en contact, à savoir : bandages en acier fondu de Krupp d'une part, et de l'autre, rails à têtes d'acier Bessemer, sur le Brenner, et rails en fer sur le Karst. C'est là une question que nous livrons à la méditation des ingénieurs et au sujet de laquelle nous poursuivons en ce moment quelques expériences.

Enfin, je crois devoir noter l'influence exercée sur l'adhérence par le passage des trains dans les deux sens sur les mêmes rails dans les sections de montagne à simple voie. Au Semmering, nous avons partout deux voies ; les trains montent et descendent sur des voies distinctes. Au Brenner, nous n'avons encore, sauf sur un faible parcours, qu'une voie unique, sur laquelle les trains circulent dans les deux sens en montant et en descendant. Or, il est positif qu'en descendant, certaines roues fortement freinées cessent de tourner et glissent sur le rail. En résulte-t-il que les petites aspérités moléculaires du champignon sont comme aplaties par le glissement de ces roues et qu'elles ne prêtent plus aussi bien prise aux aspérités correspondantes des bandages de la machine, et que par suite le rail est, après le passage du train descendant, rendu glissant et pour ainsi dire gras, comme ont l'habitude de le dire les mécaniciens accoutumés à marcher sur ces rampes? C'est une question qui mérite d'être prise en considération et qui devra, en partie du moins, trouver sa solution dans un emploi judicieux des freins.

Nous sommes ainsi amenés à nous occuper de la question des freins. Laissons d'abord de côté celle des freins de wagons, au sujet de laquelle nous poursuivons des expériences qui semblent aboutir à donner la préférence aux freins à sabots de hêtre sur ceux à sabots de tout autre bois, et même sur les freins à sabots de fer.

Nous aurons d'ailleurs occasion de revenir sur cette question dans nos communications ultérieures. Pour le moment nous désirons ne pas terminer cette première note sur le Brenner sans dire quelques mots des freins à machines.

Depuis nombre d'années que le Semmering est exploité, il n'y a jamais

été employé de freins à machines, ni fait usage d'appareil permettant la marche à contre-vapeur. Il est vrai que dans la partie la plus inclinée et la plus difficile du Semmering, les courbes de petit rayon, dont le plus faible n'a que 180 mètres, se prêtent à retarder très-sensiblement la vitesse des trains. Les mécaniciens connaissent par la pratique l'effet retardateur produit par ces courbes et gouvernent leurs trains en conséquence.

Il ne pouvait en être de même au Brenner où les plus petits rayons de courbure ne descendent pas au-dessous de 285 mètres, et où les rampes de $0^m.025$ et $0^m.225$ s'étendent sans interruption sur des longueurs de voie de beaucoup supérieures à celles des rampes du Semmering.

Nous avons constaté nous-mêmes qu'avec les moyens ordinaires, c'est-à-dire en freinant le nombre de wagons nécessaires pour que la charge de ces wagons représente 25 pour 100 de la charge totale pour les trains de marchandises (machine et tender non compris), et 50 pour 100 de la charge totale pour les trains de voyageurs, nous avons constaté, disons-nous, qu'avec ces simples mesures, les seules employées au Semmering, on était exposé, par un *mauvais rail* au Brenner, à ne pouvoir pas arrêter sur les grandes pentes en cas d'accident, ou encore à dépasser les stations dont les paliers très-courts se trouvent en général entre deux fortes pentes.

C'est donc avec raison qu'on a appliqué l'appareil de M. Lechatelier à toutes les machines du Brenner sans exception et que nous continuons à le faire pour les machines destinées à la section de Botzen à Brixen.

Cet appareil est, entre les mains du mécanicien, un *frein* dont il peut se servir *au besoin* comme de modérateur de la vitesse sur des pentes de longue étendue ; mais nous avons admis en principe qu'on ne le considérerait que comme appareil de sécurité, et que son emploi ne devrait nullement dispenser des mesures de précaution prescrites par les règlements de la circulation des trains sur les lignes à grandes déclivités.

Il ne pourrait d'ailleurs en être autrement ; car l'appareil, quoique assez simple en lui-même, exige de la part du mécanicien une attention très-soutenue, et sa manipulation coutinue donnerait, en pente, un travail au moins aussi considérable que celui déjà très-fatigant que le mécanicien est obligé de faire en rampe.

La fatigue qui en résulterait pour le mécanicien serait trop grande, et dès lors, au point de vue de la sécurité, on dépasserait le but à atteindre.

D'ailleurs, l'emploi continu de l'appareil n'est pas sans inconvénient pour la machine elle-même. On a beau augmenter l'injection de vapeur et d'eau dans l'échappement, en laissant tomber la pression de la machine autant que possible, il ne s'en produit pas moins, pendant la marche à contre-vapeur, des variations de pression évidemment nuisibles à la bonne conservation de la chaudière. Ces variations se traduisent par

l'oscillation continue de l'aiguille du manomètre qui finit par se déranger et donne des indications fausses.

En outre, si l'admission est trop grande dans la marche à contre-vapeur, la pression sur le piston peut très-facilement dépasser la limite correspondant à l'adhérence de la machine. On voit dès lors les roues patiner avec une énorme vitesse dans le sens contraire à la marche. La machine est alors comme soulevée; si le train n'est pas bien freiné, il prend instantanément une vitesse considérable.

Pour arrêter ce patinage qui fatigue tous les organes de la machine, il faut immédiatement diminuer l'admission, et le plus souvent même il faut fermer le régulateur; mais alors il arrive un moment où le piston se mettant en équilibre sous l'action de la pression de la vapeur d'une part, et de l'adhérence de l'autre, les roues font un demi-tour dans un sens et un demi dans l'autre, puis finissent par s'arrêter pendant un temps plus ou moins long avant de reprendre leur mouvement ordinaire. Les bielles d'accouplement restent immobiles et la machine glisse sur les rails en faisant des plats à tous les bandages. Cet accident nous est arrivé maintes fois avec des machines à 8 roues couplées, surtout dans les premiers temps.

On pourrait nous objecter qu'avec un peu de soin, l'emploi du sablier et une plus grande pratique de l'appareil, on arriverait certainement à l'éviter : possible pour de petits parcours, la chose paraît bien difficile pour les grands, car la cause la plus légère en apparence suffit pour diminuer l'adhérence et provoquer immédiatement le patinage. Je ne veux pas parler des nombreux tunnels qui se succèdent au Brenner, et où l'humidité des rails provoque immédiatement l'effet en question, si on n'a pas le soin de diminuer l'admission en y entrant et de donner du sable; mais dans les parties de voie à ciel ouvert, la traversée d'un passage à niveau, le passage d'une partie de voie qui reçoit directement les rayons du soleil à une partie qui est dans l'ombre, sont des causes suffisantes pour provoquer le patinage. C'est, dès lors, un travail de tous les instants. Tandis que le mécanicien n'a pas trop de toute son attention pour manœuvrer le changement de marche à vis et l'appareil d'injection d'eau et de vapeur, le chauffeur ne quitte pas la manette du sablier de façon à combattre par le sable la perte d'adhérence due à un rail moins sec. Un pareil travail est insoutenable à la descente après celui que ces deux hommes ont eu à accomplir pendant 3 ou 4 heures que dure à la montée le trajet entre Innsbruck ou Brixen et le Brenner.

D'ailleurs, tel qu'il est employé au Brenner, l'appareil de M. Lechatelier nous rend des services précieux, et nous déclarons que, suivant nous, il y aurait imprudence à s'en passer. On nous a bien proposé le frein à air de de Bergue, et tout récemment un appareil à contre-vapeur de Krauss, le très-ingénieux fabricant de machines de Munich; mais vu la simplicité de son application et les bons résultats qu'il nous a donnés

jusqu'à ce jour, nous n'avons employé que l'appareil de M. Lechatelier.

Tels sont les quelques renseignements que nous pouvons donner pour le moment sur la traction du Brenner. Nous pourrions conclure en disant que les dépenses de traction par kilomètre de train au Brenner devront, selon toute apparence, et par suite de la plus grande longueur de la section à grandes déclivités, être inférieures à celles correspondantes du Semmering, si le prix du combustible était le même pour les deux chemins, ce qui est encore loin d'être le cas; mais nous ne voulons pas préjuger la question et renvoyons à l'année prochaine la communication des résultats de la traction du Brenner au point de vue de la dépense, et la comparaison de ces résultats avec ceux analogues du Semmering, et en général des autres sections de la ligne.

N° 1. — État comparatif des dépenses de traction et d'entretien du matériel des années 1860 à 1867.

Ligne principale de Vienne à Trieste et ses embranchements sur la Hongrie, la Carinthie, la Croatie et l'Italie.

1. Vienne-Trieste et embranchement de Laxenburg............
2. Pragerhof-Ofen; Stuhlweissenburg-Uj-Szöny...............
3. Neustadt-Œdenburg-Kanizsa ....
4. Marburg-Villach...
5. Steinbrück-Sissek; Agram-Carlstadt......................
6. Nabresina-Cormons (frontière italienne)..................

} 1,578 kilomètres.

DÉTAILS DES PARCOURS ET DÉPENSES.	1860.	1861.	1862.	1863.	1864.	1865.	1866.	1867.	OBSERVATIONS.
Parcours des trains..........	3,990,493km	5,542,559km	5,345,937km	4,551,630km	51,45,561km	5,964,955km	7,871,582km	7,362,289km	
— des machines........	4,561,279	6,078,358	5,701,986	4,797,530	5,442,219	6,299,816	8,434,024	7,680,649	
Excédant p. 100............	14.30	9.66	6.66	5.40	5.79	5.61	7.14	5.67	
Parcours des véhicules.......	60,709,104	107,670,965	109,877,641	91,860,307	105,921,490	123,694,395	163,980,326	153,732,854	
Dépense de traction et d'entretien.................	7,958,366f, 92	8,205,802f, 00	7,698,344f, 85	5,883,419f, 10	5,503,529f, 75	5,828,929f, 97	7,030,292f, 85	7,162,841f, 77	
Dépense par kilomètre de train.									LONGUEUR des lignes en exploitation.
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
Conduite..................	0.254	0.223	0.230	0.255	0.208	0.198	0.189	0.196	1860. 723km
Combustible..............	0.828	0.685	0.549	0.454	0.367	0.323	0.297	0.295	1861. 1,025
Graissage................	0.077	0.083	0.071	0.052	0.035	0.030	0.033	0.027	1862. 1,150
Eau......................	0.066	0.033	0.031	0.024	0.017	0.013	0.009	0.010	1863. 1,278
Réparations..............	0.351	0.236	0.269	0.203	0.188	0.166	0.161	0.189	1864. 1,316
Frais généraux............	0.083	0.061	0.072	0.100	0.082	0.069	0.051	0.061	1865. 1,526
2° VOITURES & WAGONS.									1866. 1,526
Réparations des voitures......	0.095	0.036	0.068	0.070	0.071	0.071	0.057	0.068	1867. 1,580
— des wagons.......	0.175	0.069	0.094	0.078	0.063	0.070	0.068	0.091	
Graissage................	0.042	0.038	0.037	0.034	0.021	0.020	0.017	0.020	
Frais généraux............	0.028	0.016	0.019	0.022	0.017	0.017	0.011	0.015	
Total par kilomètre de train..	1.994	1.480	1.440	1.292	1.069	0.977	0.893	0.972	
Réduction p. 0/0 sur 1860..	—	25.7 0/0	27.8 0/0	35.1 0/0	46.3 0/0	50.9 0/0	55.2 0/0	51.2 0/0	

N° 2. — CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

Section du Semmering.

État comparatif des dépenses de traction et d'entretien du matériel des années 1864 à 1867.

DÉSIGNATION des DÉPENSES.	Dépenses de 1864.		Dépenses de 1865.		Dépenses de 1866.		Dépenses de 1867.	
	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.	totales.	par kilom.
1° Locomotives.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Conduite	103.289 47	0 355	100.297 58	0 363	121.214 08	0 309	111.687 10	0 338
Combustible	254.447 37	0 875	225.073 85	0 817	288.612 07	0 735	258.315 05	0 783
Graissage	14.181 28	0 049	11.505 52	0 042	17.041 22	0 043	13.143 47	0 040
Eau	7.547 35	0 026	5.807 20	0 021	5.338 05	0 014	4.594 53	0 014
Réparations des machines	118.944 55	0 409	74.511 33	0 270	97.021 85	0 247	102.431 57	0 311
Frais généraux	18.168 95	0 062	17.755 82	0 064	18.290 50	0 047	18.070 50	0 054
	516.578 97	1 776	434.951 30	1 577	547.547 77	1 395	508.242 22	1.540
2° Voitures et wagons.								
Réparations des voitures	14.414 25	0 050	16.006 03	0 058	16.128 28	0 041	15.568 47	0 018
Id. wagons	12.083 83	0 042	12.666 47	0 046	16.412 15	0 042	20.114 63	0 061
Graissage	4.067 77	0 013	3.851 57	0 014	4.116 35	0 010	4.498 95	0 013
Frais généraux	1.159 70	0 004	1.384 25	0 005	1.291 32	0 003	1.481 35	0 004
	31.725 55	0 109	33.908 32	0 123	37.048 10	0 096	41.063 40	0 126
Total	548.304 52	1 885	468.859 62	1 700	585.495 87	1 491	549.905 62	1 666

OBSERVATIONS. — Parcours des trains : [illegible] kilom.; 1867, 329,008 kilom. — Parcours des véhicules : 1866, 4,002,[illegible] kilom.; 1867, 4,707,447 kilom.

N° 3.

Comparaison des dépenses de traction du Semmering avec les autres sections.
(par kilomètre de train.)

DÉSIGNATION des lignes.	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867
LIGNE DU SUD.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Semmering seul......	2 85	2 40	2 29	2 155	1 885	1 700	1 491	1 666
Autres sections......	1 89	1 42	1 39	1 238	1 021	0 942	0 861	0 940
Ensemble des lignes du Sud..............	1 99	1 48	1 41	1 292	1 069	0 977	0 893	0 972
Réduction p. 100 pour le Semmering......	—	15.8 0/0	19.7 0/0	24.4 0/0	33.9 0/0	40.4 0/0	47.6 0/0	41.5 0/0

N° 4.

Comparaison de la consommation de combustible sur le Semmering.

ANNÉES.	Kilogrammes de COKE.	Kilomètres de TRAIN.	Kilomètres de machines y compris les manœuvres de gare.	CONSOMMATION par kilomètre de train.	CONSOMMATION par kilomètre de machine.	OBSERVATIONS.
				kilog.	kilog.	
1860	15.380.997	425.969	468.465	36	32	On emploie du lignite de Leoben ayant 65 p. 100 de la puissance du coke.
1861	11.387.009	349.730	382.516	32	29	
1862	8.332.543	300.717	309.448	27	26	
1863	7.129.978	269.826	295.414	26	24	
1864	7.335.709	290.779	320.402	25	22.8	
1865	6.766.034	275.531	301.991	24.5	22.4	
1866	8.568.449	392.431	428.381	21.8	20.0	
1867	7.729.248	329.907	364.651	23.4	21.1	

N° 5.

Comparaison des dépenses totales d'exploitation du Semmering avec celles des autres sections de la ligne principale de Vienne à Trieste et de ses embranchements.

DÉSIGNATION des DÉPENSES.	SEMMERING. Dépenses par train complet de marchandises passant en deux fois.	SEMMERING. Dépenses par train de voyageurs.	Autres sections du réseau. Voyageurs et marchandises.
	fl.	fl.	fl.
Traction.......................	3.332	1.666	0.940
Voie, bâtiments et surveillance.......	1.692	0.846	0.666
Mouvement......................	0.830	0.830	0.830
Administration générale............	0.130	0.130	0.130
Total par train et kilomètre........	5.984	3.472	2.566

N° 6. — Tableau des dimensions principales des machines à 8 roues couplées du Brenner.

Grille	Longueur		1^{m}.700
	Largeur		1 .085
	Surface		1 .840
Foyer	Hauteur du ciel au-dessus du cadre	avant	1 .550
		arrière	1 .550
	Longueur intérieure minima		1 .670
	Largeur intérieure	maxima	1 .196
		minima	1 .085
	Épaisseur du cuivre des parois		0 .015
Tubes	Nombre		228
	Diamètre extérieur		0^{m}.052
	Épaisseur		0 .002
	Longueur entre les plaques tubulaires		4 .625
Surfaces de chauffe	Foyer		9^{mm}.50
	Tubes		172 .30
	Totale		181 .80
Chaudière	Boîte à feu extérieure	longueur	1^{m}.900
		largeur maxima	1 .485
		largeur minima	1 .285
	Diamètre moyen du corps cylindrique (extérieur des petits virols)		1 .450
	Longueur du corps cylindrique, compris la boîte à fumée		5 .415
	Longueur totale de la chaudière		7 .315
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière		1 .730
	Du dessus du rail au-dessous du cadre du foyer		1 .235
	Épaisseur des tôles du corps cylindrique		0 .015
	Épaisseur des tôles de l'enveloppe du foyer		0 .015
	Capacité intérieure de la chaudière		7 .
	Volume d'eau avec 15 centimètres au-dessus du ciel		5 .350
	Timbre de la chaudière		9^{ats}
	Diamètre des soupapes		0^{m}.111
	Longueur de la machine à l'extrémité des tampons		8 .925
Roues	Diamètre au contact		1 .070
	Diamètre de la jante tournée		0 .950

Roues	Écartement des essieux	avant 2^{e}	1 .150
		2e moteur	1 .150
		moteur arrière	1 .150
		extrêmes	3 .450
	Entre les bandages		1^{m}.360
	Fusées des essieux	diamètre	0 .240
		longueur	0 .150
Mouvement	Diamètre des cylindres		0 .500
	Course du piston		0 .610
	Écartement des cylindres d'axe en axe		2 .380
	Longueur des bielles motrices		2 .460
	Boutons de manivelle des bielles motrices	diamètre	6 .105
		longueur	0 .100
	Diamètre de calage des boutons		0 .105
Distribution	Écartement des tiges de tiroir		2 .546
	Angle d'avance	marche en avant	35°
		marche en arrière	35°
	Course des excentriques		0 .130
	Course maxima du tiroir		0 .130
	Tiroir	longueur	0 .305
		largeur	0 .380
		recouvrement extérieur	0 .035
		recouvrement intérieur	0^{m}.0075
	Lumières d'admission		0^{m}.045 × 0^{m}.380
	Lumières d'échappement		0 .085 × 0 .330
Poids	Machine vide		41.250^{kil}
	Machine en état de service avec 15 centimètres d'eau	avant	11.700
		2e avant	11.700
		3e motrice	12.050
		arrière	11.850
		total d'adhérence	47.800

DEUXIÈME COMMUNICATION RELATIVE

A LA

VENTILATION PAR L'AIR COMPRIMÉ

PAR M. PIARRON DE MONDÉSIR,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Messieurs,

En venant vous entretenir pour la seconde fois de la ventilation par l'air comprimé, mon but est principalement de vous signaler une rectification dans la formule fondamentale que je vous ai présentée l'année dernière comme base de la théorie de l'entraînement de l'air par l'air.

Cette formule est

$$mV = MU. \tag{1}$$

m masse d'air comprimé qui sort par 1″ de l'ajutage;
V vitesse de cet air;
U vitesse du courant qui se produit dans le tuyau en avant du jet;
M masse d'air qui sort du tuyau par 1″.

C'est celle que M. Combes a posée le premier pour expliquer théoriquement les effets de l'injecteur Giffard.

Je l'ai prise d'abord sans la discuter; puis, voyant qu'elle concordait assez bien avec les premières expériences d'entraînement que nous avons faites avec des jets comprimés à haute pression, je l'avais adoptée, et vous l'ai présentée dans ma première communication.

Mais ayant eu depuis l'occasion de faire des expériences et des applications avec de l'air comprimé à très-basse pression, c'est-à-dire à quelques centièmes d'atmosphère seulement, j'ai constamment remarqué que la vitesse observée à l'anémomètre était notablement supérieure à celle qu'on déduit de la formule (1), en ne tenant pas compte de la contraction, et qui, pour l'appareil simple, se présente sous la forme

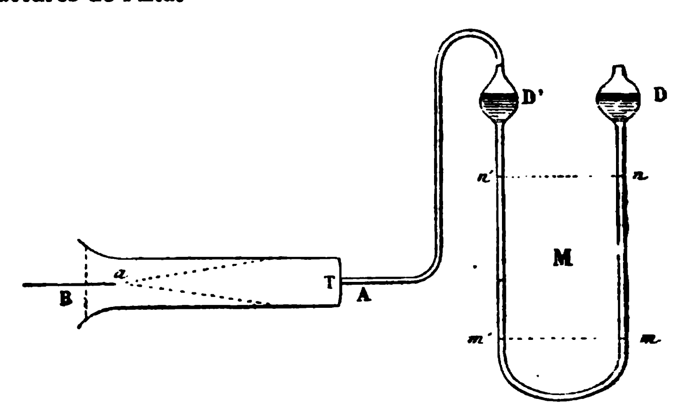
$$U = \sqrt{\frac{2g\varpi}{\delta}} \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu} = 404.4 \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu}. \tag{2}$$

1. La première communication relative à la ventilation par l'air comprimé a été publiée dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils* (année 1867).

g force accélératrice de la pesanteur = $9^{m}.81$;
ϖ pression atmosphérique par mètre carré = 10.333 kilog.;
δ poids du mètre cube d'air atmosphérique — valeur moyenne $1^{k}.2$
d diamètre de l'ajutage ;
D diamètre du tuyau;
μ nombre d'atmosphères effectives de la compression de l'air mot

Mon attention ayant été appelée sur ce point, j'ai fait quelques ex riences avec le concours de M. Paul de Mondesir, ingénieur en chef manufactures de l'État, dans le but de mesurer directement la press à laquelle est due la vitesse d'entraînement U, dans l'appareil simple

A cet effet, nous fermions le tuyau, comme l'indique le croquis ci-d sous, et nous mesurions la pression de l'air sur le fond avec le ma mètre différentiel à deux liquides, dû à M. Kretz, ingénieur en chef manufactures de l'État



A B tuyau cylindrique, fermé en A et ouvert en B;
a injecteur d'air comprimé dirigé dans l'axe de AB;
T tubulure;
M manomètre différentiel à deux liquides.

La sensibilité de l'appareil de M. Kretz peut être facilement re vingt-cinq fois plus grande que celle d'un manomètre à eau et à libre. Cet instrument, très-simple et très-ingénieux, peut donc ser mesurer de très-petites pressions.

Comme il n'est pas encore aussi connu qu'il mérite de l'être, bien ait figuré à la dernière Exposition universelle, je crois utile d'en d d'abord une description succincte.

Vous voyez que l'instrument n'est en définitive qu'un siphon ter par deux cuvettes dont la section est considérable, relativement à des branches du siphon.

Dans la cuvette D', on verse de l'eau alcoolisée, de manière à rem les deux branches du siphon et les deux cuvettes en partie.

On verse ensuite dans la cuvette D une certaine quantité d'essence de térébenthine, dont la densité est moindre que celle de l'eau alcoolisée, jusqu'à ce que la ligne de séparation des deux liquides soit parvenue au point *m* dans la branche D*m*.

Si les deux cuvettes sont ouvertes à l'air libre, le point *m* correspondra à l'égalité de pression.

Si l'on met la cuvette D' en communication avec un milieu où la pression sera plus grande que la pression atmosphérique, la ligne de séparation des deux liquides remontera de *m* en *n*.

Par suite du grand diamètre relatif des deux cuvettes D et D', les plans de niveau des liquides dans les cuvettes n'auront pas éprouvé une variation sensible.

On pourra la négliger, et la différence de pression sera indiquée par la hauteur H de la colonne *mn*.

Pour connaître la mesure exacte de cette différence de pression, il faut calculer la colonne d'eau *h* équivalente à H.

Le calcul est bien simple.

Soit ρ' la densité de l'eau alcoolisée, et $\rho < \rho'$ la densité de l'essence de térébenthine, celle de l'eau étant 1.

L'essence de térébenthine étant plus légère que l'eau alcoolisée, il est clair que, dans la situation correspondante à l'égalité de pression sur les deux cuvettes, le niveau de l'essence dans la cuvette D sera supérieur à celui de l'eau alcoolisée dans la cuvette D', et cela dans le rapport inverse des densités ρ' et ρ, en sorte qu'on aura l'égalité

$$\rho' K' = \rho K, \qquad (a)$$

en désignant par K' et K les hauteurs D'*m'* et D*m*.

Dans la seconde situation de l'appareil, alors que la ligne de séparation des deux liquides est remontée de *m* en *n*, nous aurons l'égalité

$$(K' - H)\rho' + h = (K - H)\rho, \qquad (b)$$

laquelle, à cause de l'égalité (*a*), se réduit à

$$H = \frac{h}{\rho' - \rho}. \qquad (c)$$

Admettons maintenant, ce qui a lieu ordinairement dans l'appareil de M. Kretz, que la différence de densité $\rho' - \rho$ soit égale à 0.04, et nous aurons

$$H = 25 \times h. \qquad (d)$$

Le manomètre différentiel à deux liquides peut donc fournir, pour les mesures des petites pressions, des indications vingt-cinq fois plus étendues que celles d'un manomètre à eau.

Il est du reste facile de connaître exactement, et à un moment quelconque, le coefficient multiplicateur $\frac{1}{p' - p}$. Il suffit pour cela de mettre la cuvette D' en communication avec un manomètre à eau et à air libre, et de produire sur le liquide de cette cuvette une pression assez grande qu'on pourra estimer en même temps sur les deux instruments. Le rapport des deux colonnes observées donnera la valeur du coefficient dont il s'agit.

C'est avec cet instrument de précision que nous avons mesuré la pression sur le fond du tuyau AB, quand son orifice de sortie A est complétement obturé.

En la comparant à celle de l'air comprimé, nous avons reconnu que le *produit de cette pression par la section du tuyau était sensiblement égal au produit de la pression de l'air comprimé par la section contractée du jet.*

Le 23 juillet 1867, nous avons fait six expériences avec de l'air sortant d'un récipient entretenu à la pression constante d'une atmosphère effective, dans un tube dont le diamètre est de $0^m.06$.

Nous avons expérimenté six ajutages de différents diamètres.

Le coefficient multiplicateur du piezzomètre différentiel était de 20.

La pression de l'air comprimé était indiquée par un manomètre à mercure et à air libre.

Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau ci-après.

La colonne n° 4 contient la valeur de la pression double théorique calculée ainsi qu'il suit.

En admettant, avec Poncelet, que le coefficient de contraction de l'air comprimé, sortant par un ajutage cylindrique, soit de 0.65, pour la pression d'une atmosphère, il est clair que la loi de la double pression que je viens d'énoncer s'exprime analytiquement, pour le cas particulier de nos expériences, par la formule suivante :

$$p = \frac{2 \times 0.65 \times 10.30 \times d^2}{D^2}, \qquad (3)$$

p représentant la pression en hauteur d'eau sur le fond du tube dont le diamètre est D.

Pour $D = 0^m.06$, cas de nos expériences, cette formule se réduit à

$$p = 0.372 \times d^2, \qquad (4)$$

d étant exprimé en centimètres.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES DE DOUBLE PRESSION, *faites sur des jets d'air comprimé à une atmosphère, dans un tuyau de* 0m.06, *le* 23 *juillet* 1867.

DIAMÈTRE de L'AJUTAGE. d	PRESSION donnée par le manomètre différentiel. P	PRESSION réduite en colonne d'eau. $p' = \frac{P}{20}$	PRESSION double théorique. $p = 0.372 \times d^2$	DIFFÉRENCE. $p - p'$
m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
0.30	6	0.30	0.3348	+ 0.0348
0.60	28	1.40	1.3392	— 0.0608
0.90	60	3.00	3.0132	+ 0.0132
1.20	106	5.30	5.2568	+ 0.0568
1.50	166	8.30	8.3700	+ 0.0700
1.80	235	11.75	12.0528	+ 0.3028

Je ne donne pas ces expériences comme ayant été faites avec toute la précision désirable en pareille matière.

Mais les résultats, tels qu'ils sont, m'ont paru être assez remarquables pour vous les présenter comme pouvant concourir à la vérification de la loi de la double pression.

Cette loi, du reste, ne doit pas être considérée comme un résultat nouveau dans le domaine de la mécanique. Vous savez parfaitement, messieurs, que le phénomène de la double pression est déjà constaté et par la théorie et par l'expérience, pour des jets liquides, en ce sens que la pression exercée sur un plan perpendiculaire à la direction d'une veine liquide et voisin de l'orifice de sortie de cette veine est double de celle exercée par le liquide, à l'état statique, sur la section contractée.

La loi de la double pression serait donc commune aux liquides et aux fluides élastiques.

Quelques faits qui, au premier abord, paraissent anormaux, trouvent leur explication naturelle dans cette loi.

C'est ainsi qu'on peut se rendre compte *a priori* et sans le secours du calcul, des effets de l'injecteur Giffard, non-seulement quand il fonc-

tionne pour alimenter un générateur avec sa propre vapeur, mais encore quand il fait pénétrer de l'eau dans une chaudière entretenue à une certaine pression avec un jet de vapeur emprunté à une seconde chaudière dont la pression est notablement inférieure à celle de la première.

Vous aurez peut-être remarqué, messieurs, à la dernière Exposition, le petit monte-charge de M. Lebœuf dont le moteur était un jet de vapeur. Ce jet refoulait une colonne d'eau dans un cylindre vertical. La colonne d'eau soulevait à son tour un piston auquel était adapté le plateau de monte-charge.

Un premier manomètre indiquait la pression de la vapeur; un second celui de la colonne d'eau.

Quand le plateau de monte-charge était arrivé à la limite de sa course, la vitesse ascendante de la colonne d'eau s'annulait; et le jet de vapeur continuant à fonctionner, sa force était alors entièrement employée à produire une certaine pression à la base de la colonne liquide.

A ce moment, *on lisait sur le deuxième manomètre une pression double de celle du premier.*

Or, la section contractée du jet de vapeur étant, dans cet appareil, comme dans l'injecteur Giffard, sensiblement égale à celle de la veine liquide refoulée à la base de la colonne d'eau, il en résulte que la pression de cette colonne devait être double de la pression statique de la vapeur.

Voici donc des faits, et l'on pourrait probablement en citer d'autres analogues, qui ne peuvent s'expliquer d'une manière satisfaisante que par la loi de la double pression, et qui la confirment pour la vapeur d'eau.

En ce qui concerne particulièrement l'air comprimé, j'ai eu, dans ces derniers temps, l'occasion de faire une expérience sur une grande échelle, et de faire ressortir ainsi la loi de la double pression d'une manière directe.

Je veux parler des essais de propulsion de sphères dans des conduites, par des jets d'air comprimé, essais qui ont eu lieu en mars dernier pour le compte de l'administration des lignes télégraphiques.

Mon intention n'est point de vous parler ici des résultats très-remarquables de ces essais au point de vue de la propulsion, attendu que ces considérations ne rentrent pas dans le cadre restreint que je me suis tracé.

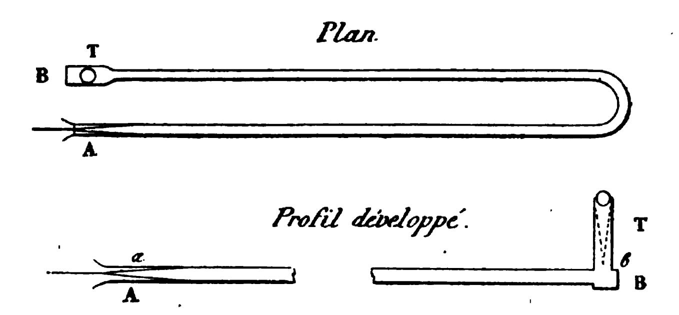
Je désire seulement vous relater en quelques mots l'expérience qui a fait ressortir la loi de la double pression d'une manière très nette.

La conduite qui a servi aux expériences de propulsion était en fonte. Sa longueur était de 130^{m}.00, et son diamètre de 0^{m}.20.

Elle présentait en plan la forme d'un U très-allongé dont les deux branches étaient raccordées par un coude de 3^{m}.00 de rayon.

Tout près de l'extrémité B était fixée une tubulure verticale de $0^m.20$ de diamètre et de $1^m.50$ de hauteur environ.

A l'entrée A de la conduite agissait un jet d'air comprimé *a*, à diamètre variable, pour propulser le mobile dans la conduite. A la base de la tubulure T était installé un ajutage fixe *b* du diamètre de $0^m.01$ et qu'on faisait fonctionner à volonté comme aspirateur.



L'orifice horizontal B étant parfaitement obturé, ainsi que l'injecteur *b*, on pouvait faire fonctionner la conduite comme appareil de ventilation, sous l'influence seule du jet *a*. Toute la colonne d'air refoulé sortait alors par la tubulure verticale T.

L'expérience de la double pression a été faite avec un ajutage de $0^m.01$ parfaitement calibré. Cet ajutage était cylindrique, et sa longueur égalait deux fois et demie son diamètre. J'avais choisi avec intention cet ajutage, parce que son coefficient de contraction, pour la pression d'une atmosphère, a été déterminé exactement par Poncelet à la valeur de 0.65.

La pression d'air était entretenue par le moteur bien exactement à 1 atmosphère et mesurée par un manomètre à mercure et à air libre.

J'ai pris alors une sphère creuse en aluminium de $0^m.193$ de diamètre pesant $0^k.707$.

Au moyen d'un poids additionnel, placé dans l'intérieur, j'ai porté son poids total à $0^k.980$.

J'ai placé ensuite cette sphère au sommet de la tubulure T, dont le diamètre, ainsi que je l'ai déjà dit, était de $0^m.20$.

J'ai constaté, en présence de plusieurs personnes, que la sphère se maintenait parfaitement en équilibre dans cette position.

Pour que la sphère ne pût tomber accidentellement au fond de la tubulure, on avait placé une petite traverse en fil de fer au contre-bas de l'orifice.

On voyait alors la sphère tourner lentement sur elle-même et décrire de petites oscillations verticales. Il y avait équilibre parfait entre le poids de la sphère et la pression due à l'action de l'injecteur, laquelle était transmise à 130 mètres de distance.

J'ai répété cette expérience avec l'injecteur de l'aspirateur fonctionnant seul à la même pression d'une atmosphère. L'effet obtenu a été sensiblement le même. Toutefois la sphère ne se maintenait plus aussi franchement en équilibre. Cela tenait à ce que le diamètre de l'aspirateur était un peu plus petit que $0^m.01$.

La loi de la double pression va ressortir très-nettement de cette expérience.

En effet, la pression statique d'un ajutage de $0^m.01$ entretenue à une atmosphère est égal à

$$1^{kg}.033 \times 0.7854 = 0^k.811.$$

Pression double :

$$0^k.811 \times 2 = 1^k.622.$$

Mais le jet sortant à l'air libre, la section de la veine aérienne contractée est plus petite que la section de l'ajutage dans le rapport

$$1 : 0.65.$$

La pression double du jet est donc

$$1^k.622 \times 0.65 = 1^k.054.$$

Cette pression totale de $1^k.054$ se répartit également sur toute la surface du cercle de $0^m.20$ de diamètre, c'est-à-dire sur la section uniforme de la conduite et de la tubulure verticale.

Mais la sphère, qui n'a qu'un diamètre réduit de $0^m.193$, n'est portée que par la portion centrale du courant correspondante à la surface de son grand cercle. Le courant d'air n'est pas entièrement annulé; une très-petite partie s'échappe entre la sphère et la paroi intérieure de la tubulure T.

La pression réelle exercée sur la sphère est donc égale à

$$1^{kg}.054 \times \frac{(0.193)^2}{(0.200)^2} = 1^{kg}.054 \times \frac{372}{400} = 0^{kg}.980,$$

c'est-à-dire au poids même de la sphère.

Cette expérience remarquable a donc démontré *que le double de la pression statique de l'ajutage, multiplié par la section contractée de la veine aérienne, était égal à la pression produite dans la conduite multipliée par la section de ladite conduite.*

Si je désigne d'une manière générale par :

P la pression de l'air comprimé;
p celle de l'air propulsé;
d le diamètre de l'ajutage;

D le diamètre de la conduite;

γ le coefficient de contraction de la veine aérienne motrice, j'aurai l'équation

$$2\gamma \times P \times d^2 = p \times D^2. \tag{5}$$

Je considère maintenant un appareil simple de ventilation, muni d'un injecteur d'air comprimé, et dans lequel la perte de pression pourra être négligée.

Je pose d'abord

$$P = \mu \times \varpi.$$

J'observe ensuite que la vitesse U de l'air qui sort à gueule bée de la conduite est donnée par la formule connue

$$p = \frac{U^2 \delta}{2g},$$

δ étant le poids de mètre cube d'air entraîné.

Reportant ensuite dans l'équation (5) les valeurs de P et p, j'obtiens finalement, pour la valeur de la vitesse U, dans l'appareil simple,

$$U = \sqrt{\frac{2g\varpi}{\delta}} \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu} \times \sqrt{2\gamma}. \tag{6}$$

En comparant cette nouvelle valeur de U avec celle donnée par l'équation (2), on voit qu'elles sont entre elles dans le rapport

$$\sqrt{2\gamma} : 1.$$

L'écart dépend de la valeur du coefficient de contraction γ, lequel varie suivant la pression, dans des limites très-étendues.

Je vous demanderai la permission, messieurs, de revenir dans un instant sur l'influence de ce coefficient γ, qui ne peut pas être négligé, comme je l'avais cru d'abord.

Je tiens à vous faire remarquer de suite qu'en partant de la formule (5), qui est basée sur l'expérience, on remonte facilement à la véritable formule fondamentale de l'entraînement de l'air par l'air.

En effet, m étant la masse d'air comprimé qui sort par 1'' de l'ajutage, et V la vitesse de cet air, *mesurée dans la section contractée*, le produit mV représente le double de la pression statique sur l'étendue de la section contractée, puisque le débit de l'ajutage est limité par cette section.

On a donc premièrement

$$mV = 2\gamma \times \frac{\pi d^2}{4} \times P.$$

D'autre part, le produit M U représente le double de la pression statique sur toute l'étendue de la section du tuyau, attendu que la colonne

d'air, refoulée par le jet moteur, sort à gueule bée. On a donc en second lieu

$$\frac{MU}{2} = \frac{\pi D^2}{4} \times p.$$

En retranchant ces deux équations l'une de l'autre, on obtient

$$mV = \frac{MU}{2} + \frac{\pi}{4} \left\{ 2\gamma \times d^2 \times P - p \times D^2 \right\};$$

soit simplement, à cause de l'équation (5)

$$mV = \frac{MU}{2}. \qquad (7)$$

Cette dernière équation, qui se déduit directement de la loi de la double pression, est donc la véritable formule de l'entraînement de l'air par l'air, et même de l'entraînement des fluides en général.

Vous remarquerez, messieurs, que la première équation

$$mV = MU$$

était fondée sur le principe de la conservation des quantités de mouvement, principe applicable au mouvement des corps solides, et que, par extension, on appliquait au mouvement des fluides.

Mais si, dans le mouvement des corps solides, la masse est constante et indépendante de la vitesse, il n'en est plus de même dans le mouvement des fluides où la masse varie proportionnellement à la vitesse. Les conditions sont donc toutes différentes. La quantité mV, que l'on considère ordinairement comme une quantité de mouvement, n'est autre que le double de la force vive d'un cylindre du fluide ayant pour longueur 1 mètre, et pour section $\gamma \times \frac{\pi d^2}{4}$, c'est-à-dire la section contractée de la veine fluide.

On a en effet, en désignant par ρ le poids du mètre cube de fluide, et par m' sa masse par mètre courant,

$$m = \gamma \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{\rho}{g} \times V = m'V,$$

et

$$mV = m'V^2. \qquad (8)$$

Je ne veux pas pousser plus loin cette discussion théorique dont l'importance est d'autant plus grande qu'il s'agit ici de nombreuses applications.

Je me propose maintenant d'examiner l'influence de la nouvelle formule sur les résultats de l'application.

Comme je l'ai déjà fait remarquer, la nouvelle valeur de la vitesse d'entraînement est égale à l'ancienne, multipliée par le terme $\sqrt{2\gamma}$.

Examinons d'abord quelle est la valeur du coefficient de contraction γ.

En ce qui touche premièrement l'écoulement de l'air par des orifices en mince paroi, je ne citerai, pour abréger, que les expériences de Wantzel et de Saint-Venant, d'où il résulte que la valeur du coefficient diminue au fur et à mesure que la pression augmente.

Voici l'échelle que Péclet a déduite des expériences de ces savants.

Pression :

$0^{atm}.01$	$0^{atm}0.10$	$0^{atm}.50$	$1^{atm}.00$	$5^{atm}.00$	$10^{atm}.00$	$100^{atm}.00$, etc.

Coefficient de contraction en mince paroi :

0.648	0.631	0.579	0.540	0.452	0.419	0.404	0.40.

Ainsi, pour la contraction en mince paroi, la plus grande valeur du coefficient serait 0.65. et la plus petite 0.40.

En ce qui concerne maintenant les ajutages, j'ai déjà eu occasion de citer les expériences de Poncelet, qui a trouvé 0.65 pour la valeur du coefficient de contraction d'une veine aérienne comprimée à une atmosphère, et sortant par un ajutage cylindrique dont la longueur est égale à deux fois et demie le diamètre.

D'Aubuisson a trouvé un coefficient moyen de 0.93 pour les veines aériennes à très-basse pression, s'écoulant par des ajutages cylindriques ou légèrement coniques. La pression de l'air, dans les expériences de d'Aubuisson, ne dépassait pas $0^{at}.014$.

Péclet, se basant sur ses propres expériences, ramène le coefficient de d'Aubuisson à 0.83 pour la forme cylindrique des ajutages; mais il n'en conteste pas la valeur pour l'ajutage légèrement conique.

Pour les grandes pressions, on n'a que les expériences de Poncelet, qui ne forment pas une série complète.

En procédant par analogie avec les résultats obtenus en mince paroi, Péclet a classé toutes les expériences connues, et en a donné l'échelle suivante pour les ajutages cylindriques.

Pression :

$0^{at}.01$	$0^{at}.10$	$0^{at}.50$	$1^{at}.00$	$5^{at}.00$	$10^{at}.00$	$100^{at}.00$.

Contraction avec ajutage cylindrique :

0.834	0.82	0.71	0.67	0.54	0.51	0.487.

Je vais d'abord prendre les chiffres de cette table pour comparer les résultats des expériences de ventilation relatés dans ma première communication, avec les indications de la nouvelle formule.

Il est à remarquer que les expériences qui présentaient une concordance assez grande avec l'ancienne formule continuent à s'accorder également bien avec la nouvelle.

Cela tient à ce que les expériences dont il s'agit ont été faites avec de l'air comprimé à haute pression, et que, pour les hautes pressions, ainsi que le démontre l'échelle de Péclet, le coefficient γ s'éloigne très-peu de la valeur de 0.50, ce qui fait que la valeur du terme $\sqrt{2\gamma}$ s'éloigne elle-même très-peu de l'unité.

L'ancienne et la nouvelle formule de la vitesse d'entraînement U, dans l'appareil simple, donnent donc des résultats à peu près identiques quand la pression de l'air moteur est de plusieurs atmosphères.

Mais il n'en est plus de même quand cette pression descend à une atmosphère et au-dessous. La nouvelle formule donne alors des vitesses sensiblement plus grandes que l'ancienne, ainsi que j'ai eu maintes fois l'occasion de le constater, l'anémomètre en main.

Dans les applications de l'air comprimé à la ventilation, la pression de l'air moteur ne dépasse pas ordinairement $0^{at}.04$.

D'après ce que je viens de rappeler des expériences de d'Aubuisson, si l'on emploie des injecteurs légèrement coniques, on pourrait attribuer au coefficient la valeur 0.93. Mais, en pratique, il paraît convenable de réduire ce coefficient à 0.90.

On aura dès lors

$$\sqrt{2\gamma} = \sqrt{1.80} = 1.342.$$

Le second terme de la première formule pratique

$$U = 404.4 \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu}$$

devra être multiplié par 1.342, ce qui donnera

$$U = 542.70 \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu},$$

soit en nombre rond

$$U = 540 \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu}. \quad (9)$$

Telle serait la nouvelle formule pratique de la vitesse d'entraînement dans l'appareil simple, avec de l'air moteur à très-basse pression et des ajutages légèrement coniques.

Il est facile de reconnaître que la modification de la formule fondamentale de l'entraînement n'a aucune influence sur les deux principales conséquences, au point de vue pratique, que l'on déduit de l'ancienne théorie, et qui se formulent ainsi :

1° *Il y a avantage, au point de vue de la dépense de force motrice, à employer de l'air comprimé à basse pression;*

2° *Quand, dans un appareil quelconque de ventilation par l'air comprimé, on fait varier le diamètre de l'ajutage, la pression de l'air moteur restant la même, la dépense de force motrice varie proportionnellement au carré de la vitesse d'entraînement.*

Permettez-moi, messieurs, en terminant, de vous démontrer en quelques mots que ces deux propositions subsistent avec la nouvelle formule fondamentale.

Considérons d'abord deux jets d'air comprimé produisant la même vitesse d'entraînement dans la même conduite.

En vertu de la formule fondamentale

$$mV = \frac{MU}{2},$$

nous aurons d'abord

$$mV = m'V', \qquad (10)$$

V et V' désignant les vitesses d'écoulement des deux jets moteurs, et les masses d'air débité par 1'' étant exprimées par m et m'.

Soient F et F' les forces motrices contenues dans ces deux jets, lesquelles seront proportionnelles aux forces en chevaux-vapeur, développées par les appareils de compression, en admettant le même rendement mécanique pour ces appareils.

Nous aurons d'abord

$$F = \frac{mV^2}{2 \times 75} \text{ et } F' = \frac{m'V'^2}{2 \times 75};$$

puis

$$\frac{F}{F'} = \frac{m\,V^2}{m'V'^2} = \frac{V}{V'}, \qquad (11)$$

à cause de l'équation (10).

Cette formule démontre que pour produire un entraînement donné dans un appareil de ventilation, on dépensera d'autant moins de force motrice que la vitesse du jet moteur sera plus petite.

C'est la première proposition.

Je passe à la seconde.

La nouvelle formule de l'entraînement, dans un appareil quelconque, est

$$u = \frac{\sqrt{\frac{29a}{\delta}}}{K} \times \sqrt{2\gamma} \times \frac{d}{D} \times \sqrt{\mu}, \qquad (12)$$

K étant le coefficient qui représente les résistances de l'appareil dans lequel fonctionne le jet moteur.

Je suppose que l'on fasse varier le diamètre de l'injecteur, la pression μ restant constante. Le coefficient de contraction γ ne changera pas de valeur si l'on conserve la même forme d'ajutage, attendu que ce coefficient ne dépendra que de la pression μ, qui, par hypothèse, ne varie pas.

Il est évident dès lors que la vitesse d'entraînement u variera proportionnellement au diamètre d, puisque c'est la seule variable du second membre de l'équation (12).

Je puis donc poser

$$u = A \times d,$$

et

$$u^2 = A^2 \times d^2, \qquad (13)$$

A étant une constante.

Or il est clair que la force motrice, développée par l'appareil de compression, croît proportionnellement à la quantité d'air comprimé débité par l'ajutage et, par conséquent, au carré d^2 de diamètre de cet ajutage. Si donc je désigne cette force motrice par F, je puis poser

$$F = B \times d^2,$$

B étant une constante ;
et par suite

$$u^2 = \frac{A^2}{B} \times F, \qquad (14)$$

ce qui est la démonstration théorique de la seconde proposition.

Me voici arrivé, messieurs, au terme de ma communication.

Je tenais essentiellement à vous soumettre le résultat de mes nouvelles recherches sur un sujet qui intéresse non-seulement la ventilation par l'air comprimé, mais tous les appareils d'entraînement en général.

Après votre accueil distingué de l'année dernière, cette communication était devenue pour moi une question de haute convenance.

M. Charles Callon demande la parole pour présenter quelques observations sur deux passages du Mémoire qui vient d'être lu.

1° Dans le premier, M. Piarron de Mondesir essaye d'établir que la quantité mV, que l'on désigne en mécanique par le mot *quantité de mouvement*, ne serait autre chose, dans le cas particulier qu'il examine, que le double de la force vive d'un cylindre de fluide ayant pour longueur 1 mètre et pour section la section contractée de la veine fluide.

Cette considération s'appuie sur ce que, en écrivant $m = m'V$, m' étant la masse correspondante à une longueur de 1 mètre, on aurait par cela même $m'V = m'V^2$. Or, M. Callon fait observer que dans l'expression mV, V ne représente qu'un coefficient, ou nombre abstrait, et non un nombre de mètres, en sorte que l'on doit écrire $(m'V) \times V$ et non $m'V^2$. La conclusion de M. de Mondesir n'est donc pas exacte.

2° Dans le second passage, M. de Mondesir s'appuie sur ce qu'il appelle la *loi de*

la *double pression*. M. Callon croit cette expression trop absolue pour caractériser un fait qui n'est pas général. En effet, si cette loi est vraie pour une veine fluide épanouie sur une paroi plane d'une étendue suffisante pour la dévier de 90°, elle ne l'est plus pour une forme différente de la paroi. Avec une paroi bombée ou d'une étendue insuffisante, la pression n'est plus doublée, et avec une plaque concave elle serait plus que doublée. L'expression *loi de la double pression* semble donc un peu trop absolue, lorsqu'on veut l'appliquer aux phénomènes faisant l'objet des expériences de M. de Mondesir.

M. Callon fait d'ailleurs observer qu'on peut supprimer cette phrase sans nuire en rien à l'exposé très-intéressant des expériences de M. de Mondesir.

M. Piarron de Mondesir, tout en acceptant les observations de M. Callon, demande à y répondre brièvement.

Si l'on désigne par Q la quantité de mouvement d'une masse M, dont la vitesse est V au bout du temps t, on aura :

$$Q = MV.$$

Exprimons que la force F, qui se manifeste dans ce mouvement, est le coefficient différentiel de la quantité de mouvement Q, nous poserons alors d'une manière générale

$$F = \frac{dQ}{dt} = M\frac{dV}{dt} + V\frac{dM}{dt}.$$

Si la masse M est constante, on a simplement

$$F = M\frac{dV}{dt};$$

c'est l'expression analytique de la force admise par tous les auteurs.

Si la masse est variable en même temps que la vitesse, la force comprendrait alors le second terme $V\frac{dM}{dt}$. Ce serait le cas d'une chaîne homogène massée sur un plan horizontal et soulevée successivement par un poids.

Si la vitesse V est constante, le premier terme $M\frac{dV}{dt}$ s'annule, et l'on a simplement

$$F = V\frac{dM}{dt}.$$

C'est le cas d'un courant fluide qui s'échappe d'un réservoir entretenu à pression constante. La masse M, en mouvement au bout du temps t, croît proportionnellement à ce temps, puisque la vitesse V est constante, et l'on a

$$M = mt,$$

m désignant la masse de fluide qui sort du réservoir par seconde. On a donc, finalement, dans le cas considéré :

$$F = V\frac{dM}{dt} = Vd\frac{mt}{dt} = mV = m'V^2,$$

m' désignant la masse d'un mètre de longueur du courant fluide.

La quantité mV serait donc qualifiée improprement du nom de *quantité de mouvement*. La vraie valeur de la quantité de mouvement du fluide sorti du réservoir au bout du temps t est mVt.

Cette quantité mV ne serait autre que l'expression analytique de la force que possède le courant fluide.

Cette force mV représente une pression double de la pression statique dans la section de la veine contractée, laquelle est $\frac{mV}{2}$.

Cette nouvelle définition de la quantité mV est donc parfaitement d'accord avec l'expérience.

M. Callon croit devoir protester contre l'interprétation qu'on veut tirer de ce jeu de formules. mV est une quantité égale à Ft et non pas à F; il ne peut y avoir homogénéité entre les termes mV et $m'V^2$, quel que soit l'exercice algébrique qui conduise à écrire la phrase qu'il a cru devoir critiquer.

M. Piarron de Mondesir, relativement à la seconde observation de M. Callon, rappelle la théorie de Poisson, à laquelle il a emprunté l'expression *double pression*.

M. le Président, tout en reconnaissant l'autorité de Poisson, estime qu'on ne peut étendre au delà de sa vraie valeur la portée du mot *double pression*, qui n'est admissible dans toute sa rigueur que pour certaines formes d'ajutage et de paroi.

M. Brull demande si M. Piarron de Mondesir peut communiquer à la Société quelques résultats des ventilations qu'il a eu occasion d'installer.

M. Piarron de Mondesir cite l'aérage des meules de l'aiguiserie de Saint-Étienne, ventilation destinée à entraîner, au grand bénéfice de la santé des ouvriers, la poussière produite sur les meules par l'opération du riflage, qui consiste à attaquer à sec les meules pour aviver les arêtes, principalement pour les meules dites à gouttières, destinées à façonner les armes blanches. 30 de ces meules sont installées dans dix cabinets, à Châtellerault, et on y emploie des ventilateurs aspirant l'air à une vitesse de 25 mètres. A Saint-Étienne, où il y a 80 meules, il aurait fallu vingt ventilateurs de cette espèce. M. Piarron de Mondesir a employé une conduite centrale donnant l'air par 80 robinets aux 80 meules situées sur deux rangs parallèles; il a reconnu que des vitesses de 13 à 15 mètres sont suffisantes pour entraîner complétement les poussières nuisibles produites pendant le riflage. La pression de l'air est de 80 centimètres; il s'échappe par des orifices de 22 millimètres, agissant dans des tubes d'aspiration de 20 centimètres. Une force de 20 chevaux est amplement suffisante pour le riflage de 40 meules. L'économie de force motrice sur les appareils de Châtellerault est de 50 p. 100. Le ventilateur triple de M. Perrigault, employé à Saint-Étienne, rend 60 p. 100 et donne, à 1800 tours, une pression d'eau de $1^m.20$.

M. Piarron de Mondesir cite encore l'aérage des caves de la brasserie Duméril, près du Marché-aux-Chevaux. Il a remplacé l'ancien système de ventilation, avec cheminées et foyers d'appel, par un ventilateur double prenant l'air des Catacombes et fournissant l'air comprimé qui expulse celui des caves, où la fermentation accumule l'acide carbonique.

Telle est la puissance de ce système qu'en un quart d'heure on renouvelle l'air des caves, de manière à pouvoir y pénétrer dès le matin. L'air pur extérieur afflue par des soupiraux, l'air vicié étant aspiré par le bas.

NOTICE

SUR LES PRODUITS DE L'EXPLOITATION

DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

DE LA SECTION RUSSE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

Par M. GRAND.

I. — APERÇU DE LA CONFIGURATION GÉOLOGIQUE DU SOL DE LA RUSSIE.

Le sol de la Russie d'Europe s'étend sous la forme d'une vaste plaine au nord-est du continent européen, entre le 18° et le 58° degré de longitude est.

Cette plaine est limitée au sud-ouest par une arête granitique, partant de la chaîne des Carpathes et se prolongeant parallèlement aux côtes de la mer Noire, en redressant le cours des fleuves qui se dirigent au sud vers cette mer. Entre celle-ci et la mer Caspienne s'élève, sur une longueur de 1,174 kilomètres, la chaîne du Caucase, qui par son âge et sa direction peut être rapportée au système du Tatra et de l'Hœmus qui a soulevé les terrains tertiaires entre le dépôt des grès de Fontainebleau et les calcaires lacustres des environs de Paris[1]. La partie centrale de ce massif, quoique peu connue, paraît être formée de roches éruptives, granites et porphyres.

Sur beaucoup de points de la chaîne principale on a constaté la présence de roches volcaniques, telles que les trachytes, les andésites, les dolérites et les amygdalites, qui forment presque toute la masse de l'Elborous et du Kasbeck (sommets les plus élevés du Caucase dont le premier atteint 5,658 mètres, et le second 5,040 mètres), ainsi que celle de certaines parties de la chaîne latérale du sud. Les éruptions boueuses (salses), les

1. Élie de Beaumont. — Système des montagnes.

tremblements de terre qui se produisent encore actuellement à Taman. sur les bords de la mer Noire, et à Apcheron sur la mer Caspienne (où une île s'est soulevée en 1861), prouvent d'ailleurs que l'action volcanique n'a pas encore cessé sur ce point.

Les chaînes secondaires se composent en majeure partie de roches sédimentaires appartenant aux formations de transition (devonienne et carbonifère), ainsi qu'aux terrains secondaires (jurassique et crétacé).

Les richesses minérales du Caucase sont encore peu exploitées. Quelques lavages d'or, connus depuis les temps les plus reculés, donnent actuellement un rendement très-minime. Des gisements de plomb et d'argent se rencontrent en plusieurs points du revers septentrional. Sur le versant du sud, le fer et le manganèse forment des gîtes riches et puissants. Enfin, dans le Taman et la presqu'île d'Apcheron, se trouvent les fameuses sources de naphte de Bakou.

Au delà du système principal du Caucase, entre la Koura et l'Aras. s'élève une série de plateaux et de massifs détachés dont la direction est presque parallèle à celle de la chaîne principale. Cette chaîne, à laquelle on donne le nom de *Causase mineur*, forme un système à part au milieu duquel se trouve le lac Gokscha, dont le niveau est situé à 1,932 mètres au-dessus du niveau de la mer Noire; on y signale également deux volcans en activité, l'Ararat (5,153 mètres) et l'Alaghoez (4,094 mètres. Sa masse est composée en presque totalité de roches éruptives et renferme sur plusieurs points des minerais de cuivre.

La chaîne des monts Ourals qui limite à l'Orient la grande plaine russe. depuis la steppe des Kirghiz jusqu'aux rives de l'océan Glacial, se divise en trois parties distinctes, l'Oural septentrional, l'Oural central et l'Oural méridional, dont les directions ne concordent pas entre elles. La structure géologique du système ouralien comprend un noyau de roches granitiques qui n'apparaissent au jour que dans les points où la chaîne atteint une certaine largeur comme dans l'Oural septentrional et quelques points de la chaîne occidentale de la partie méridionale. De chaque côté de cette base éruptive s'étendent des couches schisteuses renversées. A l'est, du côté de la Sibérie, c'est principalement un schiste corné suivi de jaspe; à l'ouest, c'est un grès micacé, quelquefois très-compacte accompagné d'alun et de schiste argileux. A ces roches métamorphiques succèdent des terrains plus modernes formés d'assises calcaires riches en minerais, surtout en cuivre. Dans les parties basses, ces couches sont recouvertes de terre alluviales, de marnes, d'argiles, etc. Ces alluvions assez fréquentes du côté de l'ouest, renferment de nombreux gisements d'or.

La région de l'Oural est la partie de la Russie la plus riche en minerais de toute espèce, dont les gisements abondent principalement sur le versant oriental, à l'exclusion du versant occidental qui n'en renferme que quelques gîtes moins importants.

La grande plaine qui s'étend, à partir des limites précédentes jusqu'aux rives de la mer Blanche et de la Baltique, est divisée en deux parties bien distinctes par un axe de terrain devonien se dirigeant de Veronije vers le golfe de Riga, et dont on peut attribuer l'origine à un soulèvement qui a émergé le bassin carbonifère de Moscou, après le dépôt du calcaire carbonifié et l'a rendu inaccessible aux dépôts de la période houillère[1]. D'autre part, une bande de calcaire carbonifère, dont la direction N.-S. se rapproche de celle du *système de soulèvement du nord de l'Angleterre*, s'étend en ligne droite des bords de la Duna, au-dessus de Velij, aux rivages de la mer Blanche, près du cap de Mezène, sur une longueur de 300 lieues. Cette ligne, le long de laquelle, dit M. Élie de Beaumont, le vieux grès rouge disparaît à la base des coteaux que forme la tranche du calcaire carbonifère auquel il sert de support, représente la direction du mouvement d'élévation qui a déterminé le bord N.-O. du bassin dans lequel s'est formé le vaste dépôt du terrain permien, du trias et du terrain jurassique, qui occupe les plaines centrales de la Russie septentrionale.

Au sud de la première ligne se trouve le bassin carbonifère du Donetz, terminé d'une part le long du cours de ce fleuve, recouvert aux environs de Backmouth par les couches gypso-salifères du terrain permien, et allant affleurer près des bords du Kalmiuss la steppe granitique de l'Ukraine qui s'étend de l'est-sud-est à l'ouest-nord-ouest, à travers la Podolie et la Volhynie. La direction de l'axe longitudinal de la steppe granitique est en moyenne peu différente de celle des plis nombreux que présentent les dépôts carbonifères du Donetz, et que M. Murchison attribue à un soulèvement de cette masse cristalline; mais les roches cristallines présentent des indices de stratification dont la direction est toute différente de celle de l'axe longitudinal de la masse, et qui, ne se continuant pas dans les couches carbonifères, doivent avoir été produites avant leur dépôt. Diverses variétés de pegmatites sont les roches dominantes, vers l'extrémité est-sud-est de la masse cristalline; près des bord du Kalmiuss; plus près du Dniéper, sur les bords de la Voltschia au sud de Paulograd et entre cette ville et Alexandrovsk, M. Murchison a observé diverses variétés de gneiss quartzeux et felspathiques passant au quartz compacte gris qui alterne avec des lames très-minces de talc verdâtre rarement micacé; un micaschiste granitoïde alternant avec des couches très-minces d'un gneiss granitoïde, etc. Ces roches sont souvent en couches verticales, mais leur prolongement habituel est du côté de l'est sous un angle considérable[2].

A l'ouest de la seconde ligne, nous rencontrons le plateau granitique de la Finlande formé en grande partie de roches éruptives et métamorphiques et de schistes de transition, offrant à la culture un sol ingrat et

1. Élie de Beaumont. — Système des montagnes.
2. Élie de Beaumont. — *Id.*

profondément découpé par de nombreuses crevasses, et souvent interrompu par des lacs et des marais qui fournissent de la tourbe et des minerais de fer oolithiques. La rive méridionale du golfe de Finlande est formée par les assises du terrain silurien, dont les couches supérieures n'apparaissent que dans la partie occidentale de la côte. Au midi, et à peu de distance de cette même côte, le vieux grès rouge se superpose à l'ouest, en face de l'île de Dago, aux couches siluriennes supérieures, tandis qu'à l'est, près de Saint-Pétersbourg et du lac de Ladoga, il s'appuie directement sur les couches inférieures. A partir de ce dernier point le grès rouge déborde le terrain silurien pour s'étendre vers Arckangel où il se perd sous les eaux de la mer Blanche en suivant la direction que nous avons indiquée plus haut.

La Pologne, qui vers le sud-ouest forme une saillie au milieu des États de l'Europe centrale, n'est, en quelque sorte, qu'une continuation de la grande plaine russe. Un plateau peu élevé et de petite étendue, considéré comme une dérivation des Carpathes, quoique séparé de cette chaîne par le lit de la haute Vistule, remplit la partie sud-ouest de ce royaume, et forme ce qu'on appelle la Lissagora, pays montagneux et boisé, riche en minerais de fer et contenant quelques gisements de calamine.

SIBÉRIE. — La Sibérie, qui s'étend à l'est de la chaîne des monts Oural, occupe toute la partie septentrionale de l'Asie. Elle se compose essentiellement de deux portions distinctes, l'une à l'ouest, vaste plaine s'étendant depuis les montagnes du centre de l'Asie jusqu'aux rives de l'océan Glacial, l'autre, située au delà du Jenisseï, dont le sol est au contraire très-montagneux.

Les chaînes du Thian-Schan, de l'Altaï et de la Sayane, qui limitent au sud-est la plaine sibérienne, se composent dans leur partie centrale de roches primitives, granites, diorites et syénites. Les couches sédimentaires recouvrant les flancs des soulèvements principaux, appartiennent aux formations paléozoïques et principalement aux étages dévonien et carbonifère. Les terrains secondaires et tertiaires se rencontrent dans les chaînes latérales et dans la plaine, ainsi que dans la vallée du Baïkal et dans le bassin de l'Amour. A partir du *nœud* de Mongou-Ssardyk, on trouve dans les chaînes de la Sibérie orientale des roches volcaniques d'origine plus récente. Ainsi dans les *Alpes* de Tamka, dans plusieurs parties du Jablonoï et du Stanovoï-Khrebet, et surtout dans le Kamtschatka qui compte un grand nombre de volcans, on rencontre fréquemment des trachites et des basaltes.

Les richesses minérales de la Sibérie sont très-variées. L'Altaï, la chaîne Sayane, et surtout l'Alataou de Kouznetzk, sont riches en lavages d'or. Les chaînes transbaïcaliennes, ainsi que presque tous les massifs détachés situés au loin dans la plaine, donnent aussi de l'or. Des mines

d'argent, de plomb et de cuivre se trouvent dans la chaîne Salaïre, dans le petit et le grand Altaï, dans le groupe de Karkarolinsk et dans les chaînes transbaïcaliennes. Le fer abonde dans l'Altaï et dans la Transbaïcalie. *Partout la houille accompagne le fer*, surtout dans les bassins compris entre l'Altaï et le Tarbogataï, et dans quelques parties de la steppe des Kirghiz. Cette dernière région située à 70 kilomètres d'Irtich environ, et dont le sol est généralement formé de terrains tertiaires récents, se termine au nord suivant la ligne de soulèvement des terrains crétacés de la Russie d'Europe, dont la direction est parallèle à celle de la chaîne du Caucase, et qui représente les premiers contre-forts de l'Oural méridional; à l'ouest, la plaine des Kirghiz pénètre dans la Russie d'Europe après avoir traversé le fleuve Oural, et va s'arrêter de ce côté aux falaises calcaires de la rive droite du Volga. Sur une surface de 1,638,750 mq, on a reconnu jusqu'à ce jour, dans cette région, 5 mines de plomb argentifère, 10 de cuivre, 3 gisements de houille et 2 mines de fer.

Enfin, un dernier produit important, le graphite, se rencontre sur les bords de la Toungouska, dans les monts Sayane et dans le Torbogotaï (sources de l'Ayagous), en gisements remarquables par la nature exceptionnelle de leurs produits.

II. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Il ressort suffisamment de l'aperçu qui précède, que le sol de la Russie renferme à la fois les minéraux les plus variés et doit offrir nécessairement à l'industrie minière et métallurgique un vaste champ d'exploitation.

Cette appréciation se trouve confirmée d'ailleurs par les différents produits composant l'exposition russe, qui, dans un espace comparativement assez restreint, nous offre la réunion de presque tous les minerais dont le traitement sert de base à ces industries : — fer, cuivre, zinc, plomb, argent, or, platine, et, secondairement, le manganèse et le nickel.

Sur le second plan, nous rencontrons les combustibles minéraux dont la quantité ne semble pas répondre à l'abondance des roches métallifères, quoique depuis quelques années on ait constaté l'existence de plusieurs gisements nouveaux restés inconnus jusque-là. L'abondance des combustibles végétaux, — bois de diverses essences, — qui alimentent encore exclusivement *une grande partie* des établissements métallurgiques de cette contrée, a dû, évidemment, avoir une grande influence sur le retard qu'a subi le développement de l'industie houillère, dont les produits commencent cependant à attirer plus sérieusement l'attention des maîtres de forge, et si jusqu'ici l'exploitation de la houille n'a pas encore atteint tout le développement dont elle paraît susceptible, d'après le

nombre et l'importance des gisements découverts, elle commence cependant à prendre rang parmi les industries minières du pays.

A côté de ces produits principaux, nous classerons, comme occupant encore une place importante dans les productions du sol de la Russie, le graphite, le sel, et secondairement diverses roches de construction.

Considérée au point de vue des produits de l'industrie métallurgique, l'exposition de la section russe ne se présente pas sous un aspect aussi complet ni aussi varié. Ainsi, l'industrie du fer semble se résumer en grande partie dans la fabrication des fers marchands et des produits de la tréfilerie; la fonte et l'acier, à part quelques fontes moulées et quelques pièces spéciales, — cylindres de laminoir, bandages de roues, — se montrent principalement sous forme de canons et projectiles de guerre; enfin le cuivre paraît être réservé presque uniquement à la fabrication des samovars et des cloches.

Nous allons passer en revue rapidement chacun de ces différents produits, en commençant par l'étude des matières premières que nous diviserons en trois groupes principaux :

1° Combustibles.
2° Minerais.
3° Roches diverses.

Nous terminerons enfin par un aperçu des produits les plus remarquables que nous offre l'industrie métallurgique.

III. — COMBUSTIBLES.

Les combustibles minéraux sont représentés en Russie par des gisements d'anthracite et de houilles; nous y ajouterons les tourbes que l'on rencontre en assez grande quantité sur plusieurs points, et principalement au nord-ouest et au midi.

ANTHRACITE. — Le principal gisement d'anthracite est situé dans le pays des Cosaques du Don, qui renferme ce combustible en quantités très considérables; mais son exploitation, qui se trouve entre les mains des populations nomades de cette contrée, laisse encore beaucoup à désirer. Le gisement occupe une surface de quelques centaines de kilomètres carrés. Les meilleures qualités se rencontrent à 30 verstes (32,000 mètres environ de Novotcherkask près de la rivière de Grouschevka, dans le terrain houiller, et forment des couches d'environ 1m.80 de puissance. On exploite par an plus de 98,000,000 kilogrammes d'anthracite, et les explorations en signalent encore plus de 57 millions de tonnes à exploiter. L'anthracite de Grouschevka contient 96 pour 100 de carbone.

HOUILLES. — L'industrie houillère, en Russie, date de vingt-cinq ans environ, et, jusqu'à présent, n'a donné que de faibles résultats. Le terrain carbonifère occupe sur le sol de la Russie une étendue assez considérable, mais renferme peu de gisements de combustibles, par suite des soulèvements nombreux qui l'ont affecté sur plusieurs points (ainsi que nous l'avons vu en commençant), avant l'époque de la période houillère.

Dans le gouvernement d'Yékatérinoslav (district de Bakhmout) et dans les environs de Moscou se trouvent un certain nombre de gisements de houille qui pourront donner lieu, dans la suite, à une exploitation de quelque importance. Au Caucase, on exploite la houille sur les bords du Kouban. En Pologne, quelques gisements de houille alimentent une partie des établissements métallurgiques de cette contrée. Enfin nous signalerons encore les nouvelles mines de houille récemment découvertes près de la chaîne de l'Oural (gouvernement de Perm), sur les bords de la Petchora, dans l'Altaï et dans la steppe de Kirghiz de la Sibérie (trois gisements). Depuis 1852 on exploite également la houille dans la Sibérie orientale.

Les houilles de la partie méridionale de la Russie présentent cette particularité que, par leur composition, elles se rapprochent des houilles et des lignites des terrains modernes, quoique leur âge soit généralement antérieur à celui des houilles de nos contrées. Elles n'en sont pas moins de bonne qualité et fournissent un excellent combustible.

A cette catégorie appartiennent les houillères d'Alexandrovska (gouvernement d'Iékaterinoslav, district de Bakhmout), dont l'exploitation a commencé en 1839 seulement. La houille s'extrait d'une couche rencontrée à 64 mètres de profondeur, dont la puissance est de $2^m.13$ et qui s'étend sur une distance de plus de 18 kilomètres. A $19^m.20$ au-dessus de cette première couche s'en trouve une autre de $1^m.67$ de puissance. Cette houille donne 65 pour 100 de coke. La production annuelle de la mine d'Alexandrovska est de 13,000 tonnes environ, correspondant à une dépense d'extraction de 160,000 fr. (soit 12 fr. 30 par tonne). Le nombre d'ouvriers employés ne dépasse pas 200.

Le tableau suivant, qui montre la variation annuelle du produit de l'industrie houillère en Russie pendant ces dernières années, permet d'estimer la production moyenne par an, à 163,720 tonnes, représentant une valeur de 2,000,000 fr.

Production des houillères pendant les années 1860-1863[1].

LIEUX DE PRODUCTION.	1860	1861	1862	1863
	kilg.	kilg.	kilg.	kilg.
Bassin de Moscou.........	10.334.824	18.578.698	12.115.934	21.592.915
— du Donetz.........	98.386.812	167.070.004	115.486.859	105.948.0[illegible]
— de l'Oural.........	6.680.774	7.243 839	4.820.668	11.888.26[illegible]
— de l'Altaï..........	900.460	3.783.649	2.383.763	3.718.990
Steppe des Kirghiz.........	3.030.784	2.720.223	8.886.629	5.947.73[illegible]
Bassin du Kouban.........	»	3.285.860	2.784.222	2.411.92[illegible]
Littoral de la Sibérie orientale.	»	»	4.985.847	8.476.99[illegible]
Total............	119.333.654	202.682.273	146.412.922	149.984.91[illegible]

TOURBES. — Les gisements de tourbe se trouvent répartis sur différents points de l'empire russe. On en rencontre notamment dans les régions suivantes :

1°. *Près du golfe de Finlande*, il existe une tourbière de 4,883,475 m. c. de surface sur une profondeur de 2m.43, produisant journellement environ 19,650 kilog. de tourbe, dont l'extraction se fait à l'aide d'une machine à vapeur.

2° *Dans le gouvernement de Moscou*, à 26 kilomètres de cette ville, la tourbière de Joukhinsk, dont la production annuelle atteint 38,848 m. c. et alimente les industries des environs.

En second lieu, les tourbières du district de Bogorodsk occupant une surface de 15,295,000 m. c. sur une profondeur de 1m.40 à 7m.40 et produisant annuellement 19,424 m. c. dont le prix de vente à Moscou varie de 4 fr. 12 à 4 fr. 94 le mètre cube.

Troisièmement la tourbière de Moloschnikoff occupant 152,950 m. c. sur une profondeur de 2m.85 ; production annuelle 9,712 m. c.

Enfin la tourbière de Medvidivo, située à 21 kilomètres de Moscou, produisant annuellement environ 14,568 m. c. de tourbe résineuse dont le prix de revient est de 3 fr. 70 sur place.

3° *Dans le gouvernement de Kharkov*, la tourbière d'Andréevka, occupant une surface de 666,425 m. c., dont la production annuelle de 38,848 m. c. alimente une fabrique de sucre de cette localité.

4° *En Livonie*, la tourbière de Marzenhof (district de Venden) qui s'étend sur une longueur de 20,273 mètres et produit annuellement 5,827 m. c.

5° *Dans le gouvernement de Kovno* on rencontre également quelques tourbières.

1. Extrait des documents publiés par la Commission russe.

Cette abondance de tourbières résulte de la configuration du sol de la Russie qui, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, présente sur plusieurs points de vastes plaines et des plateaux entourés de relèvements plus ou moins élevés, formant autant de bas-fonds dans lesquels l'eau peut facilement séjourner lorsque la nature du terrain s'oppose à son infiltration immédiate dans le sol.

—

La tourbe ne paraît pas être employée jusqu'ici en Russie dans les opérations métallurgiques.

La houille, au contraire, commence à fournir une quantité notable de combustible (coke) à ces industries; mais, comme on le verra en parcourant la suite de cette notice, la plupart des minerais de fer sont encore traités au charbon de bois. Les principales essences dont on fait usage sont le sapin, le pin, le melèze et le bouleau.

IV. — MINERAIS. — 1° MINERAIS DE FER.

Parmi les différentes espèces de minerais de fer qui alimentent les hauts fourneaux de la Russie et qui proviennent d'exploitations locales, celui qui joue le principal rôle est le *fer oxydé magnétique* que l'on rencontre en gîtes assez abondants sur le versant oriental de la chaîne de l'Oural. En second lieu, il faut placer les *fers oxydés bruns*, les *minerais de fer argileux* et enfin les *fers carbonatés spathiques* et les *minerais oolithiques* des lacs de la Finlande.

Ces différentes espèces de minerais se trouvent réparties dans un certain nombre de districts particuliers que nous allons passer en revue successivement.

La Russie d'Asie ne nous offre que les mines de Nertschinsk et de l'Altaï qui font partie du domaine de la Couronne. En Europe, nous mentionnerons spécialement les gouvernements de Perm, de Viatka, d'Orenbourg, d'Olonetz, de Vologda et de Radom en Pologne. Il existe, en outre, des mines de fer dans presque tous les départements du centre et dans le pays des Cosaques du Don ; mais la production de ces gouvernements, à l'exception de celle du gouvernement de Nidjni-Novgorod, est insignifiante en comparaison de la production de la chaîne de l'Oural (Perm et Orenbourg) qui fournit à elle seule plus de 90 pour 100 de la valeur totale.

Enfin, tout récemment, de nouveaux gîtes de minerais de fer ont été découverts sur les rivages de la mer Blanche et les bords des fleuves Petchora et Toungouska inférieur.

GOUVERNEMENT DE PERM. — Dans le gouvernement de Perm nous ren-

controns, sur le premier plan, les mines de fer magnétique du Vissoko-gora (district de Taguil) appartenant à M. Demidoff. Les minerais de cette localité se distinguent de ceux de même espèce provenant d'autres parties de la Russie, par leur nature manganésifère; sur certains points même, le manganèse s'isole à l'état de bioxyde et devient la base d'une exploitation spéciale dont les produits sont employés dans le traitement des minerais de fer, et ajoutés dans le lit de fusion des hauts fourneaux.

La mine de Vissoko-gora est formée par une masse saillante s'élevant au-dessus de la plaine à une hauteur de 82 mètres, sur une longueur de 600 mètres et une largeur de 500 mètres, et presque uniquement composée de fer magnétique. Cette masse, sillonnée sur certains points par des crevasses dont les parois sont tapissées de cristaux octaédriques de fer magnétique, repose dans une argile blanche, jaune ou brune, et se trouve accompagnée vers le nord d'une partie de roches stériles qui paraît être un porphyre pyroxénique riche en felspath labrador et parsemé de grains de quartz[1].

Cette mine est parfaitement exploitée, et peut fournir, d'après les calculs qui ont été faits, plus de 49,000 tonnes de minerai par an pendant plus de trois siècles. Le minerai contient, en moyenne, 96,34 pour 100 de fer oxydé, et donne des fers d'excellente qualité. Le traitement s'effectue dans neuf usines alimentant quatre forges.

Les usines de Taguil produisent des fontes de toute espèce (grises, blanches ou truitées); la fabrication du fer s'y fait concurremment par l'affinage et le puddlage. La production annuelle est, en moyenne, de

25,540 tonnes de fonte,
16,748 tonnes de fer.

Nous trouvons encore, dans le même gouvernement, les mines de fer magnétique de Goroblagodat.

La montagne de Goroblagodat, dont la richesse minérale fut découverte en 1730, a une circonférence de 5,800 mètres et fournit annuellement plus de 32,700 tonnes de minerai dont la teneur varie de 54 à 60 pour 100. Elle se compose de trois chaînons parallèles. Le versant qui s'étend vers Kuschwinsk est formé de porphyre pyroxénique (angite), dont la masse principale se trouve imprégnée de fer magnétique. On y rencontre des cristaux verts d'angite, qui, près de la cime, s'entourent d'uralite; on peut y constater également des taches blanches formées probablement par le Labrador, et qui se montrent à la surface de la roche transformées en kaolin. Tandis que les felspaths sont dissous par les eaux pluviales, les cristaux d'angite et d'uralite, qui résistent mieux à leur action érosive forment des saillies à la surface de la masse. Parfois le porphyre du Blagodat prend une structure amygdaline et présente des

1. Cotta. — *Die Lehre von den Erzlagerstätten.*

géodes tapissées de cristaux de carbonate de chaux. Sur le versant occidental, la présence du fer magnétique dans le porphyre n'a pas été constatée, mais vers le sommet il apparaît et devient bientôt dominant. On le rencontre alors isolé en masses considérables, alternant avec d'autres dépôts, dont le parallélisme démontre suffisamment l'origine contemporaine. Le minerai renferme parfois des druses contenant des cristaux octaédriques de fer magnétique, et de la pyrite de fer; cette dernière se rencontre également noyée dans la masse même du minerai. Le carbonate de chaux, généralement en faible proportion, apparaît cependant vers le sud en couches de quelques pieds d'épaisseur qui traversent la roche métallifère[1].

Les minerais de la mine de Goroblagodat sont traités dans plusieurs hauts fourneaux du district, notamment :

1° Dans les usines de Kouschva, qui fabriquent des fontes en gueuse et des fontes moulées, et dont la production s'est élevée, en 1863, à 7,694 tonnes pour les premières et 704 tonnes pour les secondes.

2° Les usines de Verkhnetoura, dont la fabrication analogue à la précédente a fourni, en 1863, un total de 4,470 tonnes de fonte en gueuse et 867 tonnes de fontes moulées, pour une consommation de 8,513 tonnes de minerai.

3° Les usines de Barantcha, dont la consommation s'est élevée, en 1863, à 6958 tonnes de minerai, qui ont donné 3,323 tonnes de fonte en gueuse et 507 tonnes 1/2 de fonte moulée (munitions de guerre principalement).

Les fontes du district de Goroblagodat alimentent les forges de Kamsk qui, depuis 1863, fabriquent des plaques de blindage avec des fers *au bois*, également soudés au bois. L'une de ces plaques, de 0m.114 d'épaisseur, est exposée telle qu'elle est sortie des essais auxquels elle a été soumise. (Tir à 105 mètres de distance avec des boulets de 27 kilog. en fonte et en acier.)

Les mêmes fontes sont encore travaillées *au bois* dans les forges de Votkinsk (gouvernement de Viatka) fondées en 1759, et qui fournissent par an :

	4.911	tonnes	de fer marchand pour une valeur de.		1.760.000 fr.
	442	—	de chaînes et ancres	—	572.000
	98	—	d'acier	—	100.000
	818	—	de fer pour constructions navales......		800.000
Total..	6.269	tonnes	de produits ouvrés	—	3.232.000 fr.

pour lesquels il est employé

8,186 tonnes de fonte
82,552 m. c. de bois.

1. Cotta. — *Die Lehre von den Erzlagestätten.*

Le nombre des ouvriers employés dans l'établissement est de deux mille.

Le fer oxydé magnétique ne constitue pas seul le produit des mines du gouvernement de Perm. On y rencontre également du fer oxydé brun et du fer chromé.

Le premier de ces minerais est celui qui alimente la fonderie de canons de Kamensk située dans le même gouvernement, et dont la fondation remonte à l'année 1700. En 1864, la consommation de cet établissement a dépassé 6,500 tonnes de minerai qui ont produit 1833 tonnes de fonte coulée en canons, munitions de guerre et autres objets.

Quant au fer chromé la presque totalité en est exportée en Angleterre.

GOUVERNEMENT D'ORENBOURG. — Le gouvernement d'Orenbourg renferme principalement des hémathites brunes et quelques gisements de fer carbonaté. Ces deux sortes de minerai se rencontrent simultanément vers le sud de l'Oural dans le district d'Oufa, encaissés dans des roches métamorphiques. Ils servent le plus généralement à faire de la fonte grise et sont traités dans des hauts fourneaux *au bois*. La production de la fonte lamelleuse est réservée pour certains cas spéciaux tels que celui de la fonte des canons. Quant à la fonte grise, une partie en est affectée au moulage et le reste est reparti 1/3 pour l'affinage et 2/3 pour le puddlage au bois.

Les hauts fourneaux dont il est fait usage dans cette contrée se distinguent généralement par leurs grandes dimensions; ainsi ils présentent de 15 à 16 mètres de hauteur (plus de 50') sur 4m.266 de diamètre au ventre et 2m.133 au gueulard. Leur production est de 20 tonnes par jour, et la consommation de bois est de 1 à 1.2 pour 1 de fer produit. Le charbon de bois qui sert de combustible provient de la calcination du bois de sapin, de mélèze ou de bouleau.

Nous remarquons parmi les établissements métallurgiques de ce district :

1° Les usines et hauts fourneaux de Koussinsk, fondés en 1789, occupant 423 ouvriers et dont la production, en 1863, a été de 36,345 tonnes de fonte de fer. Les minerais traités dans ces usines sont des hématites brunes provenant des mines de Kissegansk et d'Akhtensk. La substance employée comme fondant est de la dolomie.

2° Les hauts fourneaux de Satkinsk, produisant des fontes grises pour moulage, avec les minerais des mines de Bakalsk, Klutchevsk, Koreisk et Elnitch (hématites brunes).

3° Enfin les hauts fourneaux et usines de Beloretzk et de Tirliansk, produisant des fers marchands avec des minerais de fer magnétique dont le rendement moyen en fonte est de 65 pour 100, et que l'on travaille au charbon de bois. La production annuelle de ces deux établissements atteint 16,372 tonnes de fer. Le nombre des ouvriers occupés est de 1,200.

RUSSIE CENTRALE. — Dans les districts de la Russie centrale on rencontre également des hématites et des carbonates, ces derniers notamment aux environs de Moscou.

Les mines de Lougansk, dans le gouvernement d'Iékatérinoslav (district de Bakmouth) et de Ilaviaosserbsk fournissent des hématites brunes dont la teneur varie de 49 à 59 pour 100 en fonte, et que l'on traite dans les usines de Petrovsk et de Lougansk avec le coke provenant de la distillation des houilles exploitées dans les environs de ces usines.

Les usines de Vyksounski, dans le gouvernement de Nijni-Novgorod (district d'Ardatov), travaillent des minerais oxydés et carbonatés, pour fers marchands et fontes moulées.

Dans la même région se trouvent également les usines d'Ilev et de Voznessensk (gouvernement de Tambov) produisant annuellement jusqu'à 4,584 tonnes de fonte de fer représentant une valeur de 1,680,000 fr.

FINLANDE. — Les parties septentrionales de l'empire et notamment la Finlande fournissent à l'exploitation des minerais oxydés oolithiques, que l'on rencontre en grande abondance au fond des lacs où ils reposent sur des schistes métamorphiques et des grünsteins. Ces minerais donnent des fontes de très-bonne qualité spécialement réservées pour le coulage des canons. Des essais ont permis de constater dans ces fontes une résistance de 12kg.3 par millimètre carré.

La fonderie de canons d'Alexandrovsk (gouvernement d'Olonetz), qui s'alimente avec cette espèce de minerais, produit annuellement 982 tonnes de métal pour canons, 3,274 tonnes de munitions de guerre, 1,637 tonnes de fonte et 327 tonnes d'objets moulés, représentant une valeur totale de 2,400,000 fr. Son personnel comprend 1,200 ouvriers.

L'usine de Waertsiloe, en Finlande, travaille également les minerais oolithiques. Le traitement s'effectue au charbon de bois dans trois hauts fourneaux dont la production annuelle est de 5,751 tonnes de fonte brute; une partie de celle-ci est exportée dans les autres districts de la Russie, et le reste sert à alimenter six fours à puddler et quatre paires de laminoirs donnant annuellement 2,347 tonnes de fer en barres. La force motrice de l'usine, fournie par des chutes d'eau et des machines à vapeur, représente un total de 4,156 chevaux; le nombre des ouvriers n'est que de 160.

POLOGNE. — En dernier lieu nous rencontrons les minerais de fer en assez grande abondance dans la partie sud-ouest du royaume de Pologne; ils s'y présentent, en grande partie, sous forme de minerai argileux.

Leur exploitation comprend :

1° *Les mines appartenant à l'État.* Le minerai exploité est rencontré à des profondeurs variant de 17 à 40 mètres dans des couches de grès blanc,

d'argile grise et blanche et de calcaire coquiller ; ce dernier servant de fondant dans le traitement du minerai. On y trouve également un gisement d'hématite rouge concrétionnée situé à 6 mètres de profondeur au-dessous d'une couche d'argile blanche impure de 5m.95 de puissance, ainsi que des hématites brunes plus ou moins impures. Les mêmes gîtes fournissent enfin des argiles réfractaires blanches et grises, employées sans doute à la construction des fourneaux.

Ces minerais sont traités dans les hauts fourneaux de Storakowicz alimentant les forges de Hutta-Bokowa à Dobrowna, établissements qui font également partie du domaine de la couronne. Le combustible employé est du coke fabriqué avec la houille des mines de Cieszkowski et Kzaviersk situées dans la même contrée. Les forges exposent, comme produits, des fers marchands et des tôles minces.

2° *Les mines de Miedzierza* (gouvernement de Radom) qui appartiennent à MM. Jos. et Franc. Bochenski et F. Wieloglowski. Ces mines alimentent les usines de Ruda-Maleniecka fondées vers le milieu du siècle dernier et dont la production atteint actuellement 1,637 tonnes de fer par an. Le traitement se fait au charbon de bois (bouleau).

Les minerais exploités dans les mines de Miedzierza sont exclusivement des minerais argileux reposant en stratification concordante avec les couches du terrain de la contrée, — grès et schistes argileux. Une collection complète de toute la série des roches traversées par les travaux d'exploitation, un plan général et une coupe de la mine donnent un grand intérêt à l'exposition de MM. Bochenski et Wieloglowski. A l'inspection de la coupe de la mine, il est facile de se rendre compte de la position des gîtes, répartis en trois étages distincts, dont les puissances sont respectivement 1m.40, 1m.40 et 1m.70. La première couche contient quatre veines de minerais séparés par des parties stériles argileuses ; la seconde en contient cinq et la troisième six.

3° *Les mines de Hendrikovsk*, dont les minerais sont traités au bois par les usines d'Irena et d'Ortowice. Ces établissements datent de 1837 et leur production annuelle en fonte et fers marchands atteint 1,220 ton.

4° *Les mines de Borkowice et Nicklau*, dont les minerais sont également traités au charbon de bois (bois de pin et de sapin) dans les usines du même nom. Les usines de Borkowice et de Niklau existent depuis deux siècles environ ; elles produisent annuellement pour une valeur de 150,772 fr. de fonte et 177,024 fr. de fer ouvré, occupent 220 ouvriers, et emploient comme moteurs les chutes d'eau et la vapeur.

5° *La mine de Rogoznik* exploitée depuis 1862 seulement.

SIBÉRIE. — La Sibérie fournit également son contingent à l'industrie métallurgique du fer.

Ce sont :

1° Les minerais oxydés de la mine de Dolonovsk à gangue quartzeuse, alimentant les usines de Nicolaevsk (gouvernement d'Irkoutsk).

2° Les minerais de fer de la steppe des Kirghiz, dont il a été découvert jusqu'à ce jour deux gisements (Konou et Alexandrovsk). Leurs produits sont représentés par des échantillons dont la teneur est de 75 et 80 pour 100.

Production totale du fer et de la fonte. — En 1863, la production totale des usines de fer de l'empire russe atteignait 244,014 tonnes de fonte de fer, mais cette production est au-dessous de la moyenne actuelle qui, pour les dernières années, était de 283,300 tonnes. D'après le cours du prix fixé sur les lieux de production (17 fr. pour 100 kilog.), la valeur du produit de la fonte pour la Russie proprement dite serait de 47,600,000 fr., auxquels il convient d'ajouter encore la valeur du prix de 65,500 tonnes provenant du royaume de Pologne, et qui, portant le chiffre de la production totale à 343,812 tonnes, nous conduisent à une valeur de 60 millions de francs.

Cette production est insuffisante à la consommation locale qui exige encore annuellement l'importation de 16,000,000 fr. de fer brut, sans compter le fer travaillé (machines et outils, etc.) représentant encore une valeur de 64 millions de francs environ.

2° MINERAIS DE CUIVRE.

Les minerais de cuivre se rencontrent à la fois sur le versant oriental et sur le versant occidental de la chaîne des monts Ourals. Les premiers se trouvent contenus dans des roches métamorphiques ; les seconds accompagnent les grès permiens. Très-pauvres en cuivre, ces derniers donnent cependant un métal d'excellente qualité.

A l'exception des mines de l'Altaï, qui font partie du domaine de la couronne et qui rapportent en moyenne 240 à 250 tonnes par année, toute la production du cuivre provient des gîtes de l'Oural. En 1863, le nombre des mines de cuivre était de 136 et celui des ouvriers de 11,000; la production atteignait à la même époque 4,682 tonnes représentant une valeur de 10,400,000 fr.

MINES DE L'ALTAI. — L'exploitation du cuivre dans l'Altaï (gouvernement de Tomsk) est représentée par les produits de deux mines principales :

1° *Les mines du district de Zmeinogorsk*, donnant de la pyrite cuivreuse dont la teneur en cuivre est de 25 à 32.5 pour 100, avec gangues de porphyre, schistes quartzeux et siliceux.

2° *Les mines du district de Beloussovo*, qui renferment des minerais

oxydés d'une teneur de 6.25 à 8.75 pour 100 en cuivre, et des minerais sulfurés; les gangues sont des schistes argileux et siliceux. Le traitement de ces minerais se fait aux usines de Sazounsk, qui produisent environ 540 tonnes de cuivre par an.

MINES DE L'OURAL. — Dans la région de l'Oural, le nombre des exploitations, de beaucoup plus considérable, se répartit entre les deux provinces de Perm et d'Orenbourg. Dans la première nous trouvons:

1° *Les mines de Vassilier et de Bogoslovsk* (district de Verkhotourié), dont le minerai, — pyrite cuivreuse, — rencontré au contact des trapps et du calcaire, alimente les usines de cette dernière localité. La teneur moyenne du minerai depuis la découverte de la mine (teneur qui se répartit sur une quantité de 1,522,600 kilog.) est de 3.8 pour 100.

2° *Les mines des environs de Jougov*, qui exposent comme spécimens de leur exploitation :

1° Des grès contenant 1 1/2 à 3 1/2 pour 100 de cuivre.

2° Des grès avec vanadiate de cuivre, contenant jusqu'à 5 pour 100 de métal.

3° De l'argile avec cuivre carbonaté, teneur 2 pour 100.

4° De l'argile avec vanadiate de cuivre, teneur 1 3/8 pour 100.

3° *La mine de cuivre de Medno-Roudiansk*, découverte en 1814, et actuellement exploitée jusqu'à 175 mètres de profondeur. Elle fait partie du domaine de Taguil, appartenant à M. Demidoff, et se trouve située à 1 kilomètre de distance de la mine de fer que nous avons précédemment mentionnée dans la même région. Comprise entre les calcaires et les schistes au contact de ces roches avec des diorites, elle appartient, ainsi que la plupart des gisements de cuivre de la Russie, aux gîtes de contact. Le traitement de ses minerais, — cuivre carbonaté et cuivre sulfuré, — a donné, depuis l'époque de sa mise en exploitation, un produit total de 6,973 tonnes de cuivre fin. On y rencontre également des masses importantes de malachite, dont un échantillon, pesant plus de 2,500 kilog., figure à l'Exposition. 513 tonnes de cette roche en ont déjà été extraites depuis 1840, époque de sa découverte dans la mine.

Les minerais de la mine de Medno-Roudiansk sont travaillés dans l'usine de Vouya qui produit annuellement de 1,637 à 1,883 tonnes de cuivre. Le traitement s'effectue dans des fours particuliers (fondant jusqu'à 32 et 33 tonnes de minerai en vingt-quatre heures) remarquables par leurs grandes dimensions, et dont on peut voir un modèle exposé à côté des produits de la mine; ces fours présentent en coupe la forme d'un entonnoir. A la partie inférieure, viennent déboucher une série de tuyères branchées sur un long conduit horizontal qui règne sur toute la longueur. Le cuivre noir provenant de cette première opération est re-

passé de nouveau dans un fourneau analogue et affiné ensuite dans des bas foyers.

L'exposition de M. Demidoff permet de suivre dans toutes ses phases l'opération complète, en examinant la série des échantillons, classés avec soin, qui correspondent à chacune des périodes principales dans lesquelles on peut la décomposer.

Dans le gouvernement d'Oufa, nous avons à mentionner :

1° *Les mines de Kargalinsk*, donnant des minerais de cuivre carbonaté dont la teneur varie de 2 à 40 pour 100.

Le traitement de ces minerais s'effectue dans les usines de Bogoïavlensk, qui travaillent au charbon de bois. Fondés en 1752, ces établissements exploitent actuellement 5,730 tonnes de minerai par an, donnant 164 tonnes de cuivre qui représentent une valeur de 520,000 fr. La force motrice de l'usine se compose de cent chevaux dont quarante sont fournis par une machine à vapeur et le reste provenant de chutes d'eau. Le nombre des ouvriers est de 800.

2° *Les mines de Voskressensk et de Preobrojensk*, alimentant les usines du même nom, qui travaillent également au bois et produisent par année 262 tonnes de cuivre, pour une consommation de 7,367 tonnes de minerai.

3° *Les mines des environs d'Orenbourg*, appartenant aux usines de Blagovestchensk dans lesquelles les minerais (carbonates) sont également traités au bois. Ces établissements datent de 1756. En 1864, leur consommation s'est élevée à 2,623 tonnes de minerai qui ont donné 87,590 kilog. de cuivre pur (soit 3,3 pour 100). L'affinage se fait au four à reverbère.

MINES DE LA SIBÉRIE. — En Sibérie, nous trouvons des échantillons de cuivre natif qui méritent d'attirer l'attention.

L'un d'eux, provenant des gisements de la steppe des Kirghiz, pèse 638k.50.

La même exposition renferme des minerais carbonatés (vert et bleu) provenant des mines de

Bogoslovski	—contenant	75 pour 100 de cuivre.	
Annenski	—	72	—
Athassor	—	44 à 55	—

Ainsi que nous l'avons déjà dit en commençant, on a découvert jusqu'à ce jour dix gisements de cuivre dans cette province ; leur teneur moyenne est de 12 à 58 pour 100.

Les environs de Sémipalatinsk [1], qui représentent un second district minier de la Sibérie, offrent également du cuivre natif et des minerais de différentes espèces.

1. Gouvernement d'Omsk.

3° MINERAIS DE ZINC.

Les minerais de zinc ne sont exploités qu'en Pologne, où leur production annuelle s'élève en moyenne à 3,438 tonnes représentant une valeur de 2,100,000 francs. Ces minerais sont exclusivement des calamines provenant des mines de Jossifovsk, Oulüsk, Georgievsk et Varvarinsk (propriétés de la couronne) et de la mine de Fanny (à Rogoznick, gouvernement de Radom), appartenant à M. Cordliczka.

Les premiers sont traités dans les usines de Dobrowa près de Bendzin, par la méthode silésienne ; le laminage s'effectue dans l'usine de Stowkow.

4° MINERAIS DE PLOMB ET D'ARGENT.

On rencontre les mines de plomb dans le district de Nertschinsk, dans celui de l'Altaï et au Caucase (mine d'Alaghir). Toutes les mines d'argent et de plomb appartiennent à l'empereur ; les mines d'Alaghir sont la propriété de l'État. Dans ces derniers temps, toutefois, des exploitations particulières ont pris naissance dans la steppe de Kirghiz (Karkaralinsk). En 1863, la production totale a donné les résultats suivants :

Districts de :	Argent en kilog.	Plomb en kil.
Nertschinsk	17,223,3	1,062,571
Altaï	123,4	10,330
Mines d'Alaghir	418,0	85,297
Steppe des Kirghiz	13,5	15,995
Total	17,678,2	1,174,196

Représentant une valeur de 3,109,640 fr. pour l'argent.
— — de 580,000 fr. pour le plomb.

MINES DE NERTSCHINSK. — Les mines de plomb argentifère du district de Nertschinsk traversent des alternances de calcaire, de schistes et de grauwackes [1].

MINES DE L'ALTAI. — Les minerais d'argent du district de l'Altaï, se rencontrent au contact des argiles et des calcaires avec les roches éruptives, — porphyres, éurites.

Dans cette même région on rencontre également des masses considérables de plomb argentifère. On y trouve enfin du sulfate de baryte contenant du sulfure d'argent seul; le traitement de ce minerai est assez difficile et exige l'emploi, comme fondant, de minerai de fer.

1. A. Burat. — *Géologie appliquée*.

La production annuelle des mines de l'Altaï est de 16,000 kilog. d'argent, contenant 3 à 4 pour 100 d'or.

Ces mines se divisent en trois groupes principaux qui diffèrent plus ou moins par la nature de leurs produits et celle des roches encaissantes. Ce sont :

1° *Les mines de plomb argentifère de Ziransk*, dont le gîte métallifère, placé au contact des porphyres avec les schistes argileux talqueux et chloriteux que recouvre une couche plus ou moins épaisse de terrain d'alluvion, contient à la partie supérieure des minerais oxydés d'argent (teneur 0g.91 à 1g.82 par kilog.), et dans les étages inférieurs des minerais sulfurés, — cuivre sulfuré argentifère, pyrite et blende argentifère, plomb sulfuré.

La longueur du gîte en direction est de 160 mètres, sa puissance varie de 3 à 14. A sa base, il se divise en deux branches séparées par une masse de porphyre. Le quartz forme la gangue du filon.

2° *Les mines d'argent de Sokol*, contenant deux gisements placés au contact des porphyres et des schistes argileux qui forment le sous-sol de la contrée. Les minerais oxydés et sulfurés s'y rencontrent également parallèlement, accompagnés de gangue quartzeuse.

3° *Les mines de Salaïrsk*, renfermant quatre gisements en état d'exploitation également situés au contact des roches éruptives avec les schistes talqueux de la contrée, et donnant ainsi que les précédents des minerais oxydés à la partie supérieure et des minerais sulfurés dans les couches inférieures, avec gangues calcaires, quartzeuses et schistes talqueux.

Les produits de ces différentes mines sont traités dans les usines de Barnaoul, de Pavlovsk, de Gavrilovsk, Zmeïevsk et Loktevsk.

MINES DE LA STEPPE DES KIRGHIZ. — Les mines de plomb argentifère de la province des Kirghiz de la Sibérie, récemment découvertes, sont au nombre de cinq; les minerais contiennent de 0g.78 à 1g.03 d'argent par kilog. de minerai, et 40 à 60 pour 100 de plomb.

Enfin, il existe encore des gisements de minerais d'argent dans l'île Medvége.

5° MINERAIS D'OR ET DE PLATINE.

L'or provient du lavage des sables aurifères [1] que l'on rencontre :

1° Sur le revers oriental de la chaîne de l'Oural (gouvernements de Perm et d'Orenbourg) ;

2° Dans le système Sayano-Altaïque (gouvernements de Tomsk et de Yenisseisk) ;

1. Il faut en excepter l'exploitation de Berezow, en Sibérie (gouvernement d'Orenbourg). Ici le gîte exploité est un filon de quartz aurifère, avec oxyde de fer et pyrite.

3° Dans le système du Yablonnoï-Khrébet (Transbaïcalie).

En 1863, la production des divers districts se résumait dans les chiffre suivants :

Production des divers districts aurifères pendant l'année 1863[1].

Districts de :	Lavages.	Nombre d'ouvriers.	Produits.
*Nertschinsk (Transbaïcalie)	4	927	350k.[illegible]
Bargousinsk (Transbaïcalie)	23	2447	1855.[illegible]
Verkné-Oudinsk —	9	1053	439.[illegible]
Olckminsk (Yakoutsk)	26	4873	3038.[illegible]
Kansk et Nidji-Oudinsk (Yenisseisk et Irkoutsk).	21	1402	584.[illegible]
Minoussinsk (Yenisseisk)	32	1667	898.[illegible]
Atschinsk —	24	786	273.[illegible]
Yenisseisk (sud) —	63	5878	2669.[illegible]
Yenisseisk (nord) —	79	9039	6459.[illegible]
Mariinsk (Tomsk)	84	1449	411.[illegible]
Altaïsk —	1	48	6.[illegible]
*Altaïssk —	47	3243	1395.[illegible]
Ssémipalatinsk	8	1062	97.[illegible]
*Yekatherinbourg (Perm)	35	1185	659.[illegible]
*Goroblagodat —	»	»	»
*Boyosslowsk —	38	1356	416.[illegible]
*Zlatooust (Orenbourg)	38	1586	713.[illegible]
*Berezowo —	1	67	1.[illegible]
Lavages du gouvernement d'Orenbourg et du pays des Cosaques du Don	205	10975	138[illegible]
Lavages du gouvernememt de Perm	39	8764	2313.[illegible]
Total	745	57957	23920.[illegible]

La valeur totale de la production de l'or, d'après les prix établis par la couronne qui achète tout le produit des lavages en général, est 77,228,448 francs.

Les lavages les plus avantageux sont ceux des districts d'Olckmi de Bargousinsk et de Zlatooust. Puis viennent ceux de l'Altaï. Les données sur le produit des lavages du district de Goroblagodat manq depuis 1861. Autrefois, ils rapportaient environ 80 kilogrammes. D la Sibérie orientale on vient de trouver sur les bords de plus affluents de l'Amour, ainsi que dans plusieurs endroits du gouverne

1. Les noms placés entre parenthèses indiquent les gouvernements dans lesq placés les districts.

Le signe * indique que les lavages mentionnés sont la propriété de l'État ou de pereur. Les autres sont exploités par l'industrie privée.

d'Irkoutsk et de la province de Yakoutsk, des gisements qui promettent une riche exploitation.

La production annuelle de l'or ne paraît pas avoir sensiblement augmentée depuis 1850. Ce fait ressort facilement de l'examen du tableau suivant qui résume la production totale pendant les années 1830 à 1863.

Années.	Produit des lavages en kilg.	Valeur en francs.
1830	5,904k.90	18,663,680 fr.
1840	9,311 .00	30,060,984
1850	23,872 .80	76,943,744
1860	23,891 .80	77,133,712
1861	23,870 .90	77,063,944
1862	23,946 .30	77,275,660
1863	23,920 .00	77,228,448

Les sables aurifères sont des sables argileux, ocreux, directement placés sous la couche de terre végétale; les parties supérieures des couches sont généralement stériles. Le métal est accompagné dans ces sables par des conglomérats de roches anciennes, — granites, syénites, gneiss, quartz et schistes, — que l'on sépare à l'aide d'un premier triage. Les sables ainsi concentrés contiennent encore du quartz cristallin, du jaspe, du fer oligiste et du fer magnétique; ce dernier y existe surtout en très-forte proportion, et ne peut être séparé qu'au moyen de l'aimant.

L'exploitation de Iagodni (gouvernement de Perm) nous offre l'application de la force motrice de la vapeur au lavage des sables aurifères. Commencée en 1862, elle produit actuellement de 229 à 295 kilog. d'or par an, représentant une valeur de 800,000 francs, et emploie 400 ouvriers. Parmi ses produits exposés, on remarque une pépite d'or trouvée dans le quartz pesant 1k.435 et une autre provenant du gouvernement d'Yénisseïsk du poids de 2k.460.

Dans le gouvernement d'Orenbourg, district de Troïsk, les mines de Miask et d'Andreevsk, découvertes en 1823, ont donné 442,044,000 kilog. de sables aurifères contenant 3g.111 d'or pour 1637 kilog. de sable (soit 0.0000019) en moyenne, et dont on a retiré

736,740 grammes d'or et 57,302 grammes d'argent.

PLATINE. — Le platine se rencontre dans les mines de l'Oural et principalement à Nijni-Taguilsk (mines de M. Demidoff), et dans le district de Goroblagodat. Ce métal a été exploité pendant un certain temps pour servir à la fabrication de la monnaie; aujourd'hui le gouvernement russe y a renoncé, et la production est restée stationnaire depuis quelques années. Elle varie actuellement de 491 à 2,300 kilogrammes par année.

RÉCAPITULATION. — Le tableau suivant résume la valeur de la production annuelle des métaux que nous venons de passer en revue.

Or	fr.	76,000,000
Argent		3,400,000
Plomb		580,000
Cuivre		10,400,000
Zinc		2,100,000
Fer		60,000,000
Total		152,480,000

V. — ROCHES DIVERSES. — 1° SEL.

La production du sel en Russie suffirait complétement à alimenter la population du pays, si la position géographique de plusieurs des contrées de production n'augmentait pas d'une manière considérable les frais de transport et par conséquent le prix de revient définitif. C'est à cette cause qu'il faut sans doute attribuer l'importation du sel étranger dans plusieurs provinces de l'Ouest, et dans le royaume de Pologne en particulier, importation dont le chiffre atteint annuellement 115,000 tonnes environ.

Le sel indigène provient de trois sources distinctes :

— Les gisements de sel gemme;
— Les marais salants;
— Les sauneries.

La chaîne de l'Oural (gouvernements de Perm et d'Orenbourg), la steppe des Kirghiz en Sibérie et la région du Caucase (gouvernement d'Ériwan) renferment plusieurs gisements de sel gemme.

Les lacs salants sont distribués le long des côtes de la mer Noire et de la mer d'Azoff, dans les steppes qui s'étendent entre le Volga, l'Oural et l'Emba; la Sibérie en renferme également. Le plus considérable est le lac Elton (gouvernement de Saratoff), qui produit annuellement 65,000 à 185,000 tonnes de sel.

Enfin, les sauneries des gouvernements d'Irkoutstk, de Yénisseïsk, d'Arkhangel, de Vologda, de Novgorod et de Perm fournissent annuellement 130,970 tonnes de sel.

On remarque une progression croissante dans la production de ces dernières exploitations, ainsi que dans celle du sel gemme. Quant aux marais salants, la statistique accuse à leur égard de grandes variations. Ainsi le lac Elton a produit :

En 1854 et 1855	212,836	tonnes par an.
En 1852, 1853 et 1856	114,604	—
En 1857 et 1858	16,372	—

et pendant ces dernières années

65,000 à 115,000 tonnes en moyenne.

Les lacs salants de la Crimée, qui donnent ordinairement 2 à 300,000 tonnes, descendent quelquefois à quelques milliers de tonnes seulement.

La production totale varie également dans des limites assez étendues. Ainsi, tandis qu'en 1855 et 1856 elle atteignait 5 et 600,000 tonnes environ, elle est montée en 1862 à 736,720 tonnes, pour redescendre en 1863 à 507,532 tonnes.

2° GRAPHITE.

Les principaux gîtes de graphite se trouvent situés en Sibérie.

Le plus important est celui de la mine de *Marinski*, située à l'ouest d'Irkoutsk, au mont Batougol, à 6000 kilomètres environ à l'est de Saint-Pétersbourg.

Ce gisement, appartenant à un Français, M. Alibert, est renfermé dans un terrain granitique, composé en grande partie de syénites, dont on peut voir quelques échantillons à côté des remarquables produits de la mine de graphite. L'exploitation assez irrégulière de cette dernière ne permet pas de fixer d'une manière certaine le chiffre de sa production annuelle.

Un peu plus au nord, sur les bords des rivières Toungouska, Koureïka, Taïmoura, Orana et Oussa, affluents de l'Yenisseï, se trouvent d'autres gîtes de graphite. A l'ouest, on en rencontre également sur les rives de l'Artisk, affluent de l'Obi.

Dans la Russie d'Europe, il existe également quelques gisements de cette roche, notamment en Finlande, à Knopio et à Saint-Michel. Ces dernières exploitations exposent des creusets et des briques réfractaires.

3° ROCHES DE CONSTRUCTION.

Dans cette catégorie (faiblement représentée dans l'exposition russe) nous signalerons :

1° *Les ardoises et les pierres à meules du pays des Cosaques du Don.*

Les couches d'ardoises sont assez fréquentes dans cette région qui, ainsi que nous l'avons indiqué en commençant, est formée, en majeure partie, de terrains de transition. La facilité avec laquelle elles se débitent en feuilles de 1 à 2 mètres carrés sur 0m.002 à 0m.075 d'épaisseur, les rend d'un emploi avantageux pour les couvertures de toitures, et permet d'autre part de les appliquer à la confection des tables, entablements de fenêtres et ardoises à écrire.

Les meilleures qualités s'exploitent à 2 kilomètres du village de Novopovlovski, dans le district de Miousk.

Les carrières à meules se trouvent disséminées dans les terrains de la formation crétacée; elles fournissent d'excellentes pierres très-renommées dans la contrée; au premier rang se trouvent celles des carrières de Kalitvinsk et de Gorodischensk, dans le district du Donetz.

2° *Les granites et les marbres de la Finlande.* — Les premiers sont représentés par des échantillons de granite de la carrière de Jollas, située sur le bord de la mer, à 7 kilomètres d'Helsingfors, et qui fournit des pierres d'ornement et de construction (blocs pour quais, fondations, etc.), ces dernières à 106 francs le mètre cube sur navires.

On remarque également des petits blocs taillés provenant des carrières des environs d'Helsingfors, et servant au pavage des rues. Leur prix, rendus à bord dans cette dernière ville, est de 5f,50 le mètre carré.

Les secondes sont des marbres verts provenant de la carrière de Svarto.

3° *Les marbres de la Crimée.*

VI. — PRODUITS DE L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE.

Si, au point de vue minéralogique, l'exposition russe nous présente une assez grande diversité de produits qui donnent à son étude un certain intérêt, il n'en est pas de même en ce qui concerne les spécimens de l'industrie métallurgique; celle-ci paraît se renfermer en général dans la fabrication de quelques produits spéciaux, peu nombreux, parmi lesquels il en est d'ailleurs peu de remarquables.

PRODUITS DE L'INDUSTRIE DU FER. — L'industrie du fer est celle qui paraît avoir acquis jusqu'ici en Russie le plus grand développement. Elle alimente actuellement 512 établissements industriels (fonderies, forges, aciéries), occupant 4200 ouvriers. La valeur totale de la production peut être estimée à 112 millions de francs. En dehors de ces établissements, le fer sert de base à une foule d'industries particulières, telles que la fabrication de la coutellerie et une grande partie de la serrurerie, qui s'exécutent encore exclusivement dans certains villages des gouvernements de Nijni-Novgorod et Riasan. Cette production très-importante atteint presque au chiffre de la première (100 millions de francs).

Des projectiles et munitions de guerre et quelques fontes moulées sont les seuls spécimens du produit des fonderies russes figurant à l'Exposition.

Les fontes moulées appartiennent d'ailleurs spécialement à la catégorie des *fontes d'art*, et méritent d'attirer l'attention pour la finesse de leur

moulage et la netteté de leurs formes, quoiqu'elles n'atteignent cependant pas, sous ce double point de vue, à la perfection d'exécution qui distingue les produits de quelques établissements étrangers, notamment ceux des fonderies du comté de Stollberg, à Ilsenbourg (Brunswick). Elles proviennent spécialement des usines de Kyschtyme (gouvernement de Perm), fondées au milieu du siècle dernier, et produisant actuellement plus de 3000 tonnes de fontes moulées, représentant une valeur de 3,400,000 fr. Les minerais sont traités au charbon de bois.

La fabrication de l'acier paraît avoir acquis une importance relative assez considérable, si l'on en juge par la nature et le nombre des produits exposés. En dehors des canons de 4 et de 24, sortant des ateliers de la fonderie de Perm et de ceux de l'aciérie d'Oubouklhoff, à Saint-Pétersbourg, — qui nous montrent que la Russie n'est pas restée étrangère aux efforts tentés en France, en Angleterre et en Allemagne, dans ces dernières années, pour remplacer la fonte et le bronze par l'acier, dans la fabrication de ces engins, — nous rencontrons également quelques pièces de machines de dimensions importantes.

Les usines de Zlatooust (gouvernement de Perm) fabriquent des essieux pour roues de wagons, des bandages de roues de locomotives, des cylindres de laminoirs en acier fondu (dont le prix varie de 250 à 300 fr. pour 100 kilogrammes).

L'usine d'Oboukhoff expose également un arbre de couche pour bateau à vapeur, des cylindres pour la fabrication des monnaies.

Les forges de Votkinsk, dont nous avons déjà eu occasion de parler plus haut, fabriquent de l'acier à l'aide du procédé Bessemer, ainsi que des aciers fondus au creuset et des aciers cémentés.

L'industrie des forges semble se renfermer jusqu'ici presque exclusivement dans la production des petits fers marchands et des tôles, fabriqués pour la plupart au charbon de bois.

Nous ne trouvons dans l'exposition des forges russes aucun produit qui puisse rivaliser avec les fers laminés du Creusot, de Rive-le-Gier, ou de Bourbach, avec les tôles de Low-Moor, les loupes de Borsig, à Berlin, etc. La fabrication des fers spéciaux n'y est représentée que par quelques cornières, des fers à barreaux de grille, et enfin des rails (usines de Taguil).

Parmi les fers marchands, nous signalerons ceux des usines d'Alapaev, qui exposent également des tôles d'assez grandes dimensions. Ces établissements, situés dans le gouvernement de Perm, ont été fondés vers la fin du siècle dernier. Ils traitent annuellement plus de 41,000 tonnes de minerais; leur production s'élève jusqu'à 8200 tonnes de fers, tôles, etc., représentant une valeur de 3,200,000 francs. Le traitement des minerais qui exigent comme fondant 6550 tonnes de calcaire par an

(soit environ 16 p. 100), se fait au charbon de bois (sapin), dont la consommation annuelle atteint 631,280 mètres cubes.

Enfin, nous rappellerons les plaques de blindage de l'usine de Kamsk (gouvernement de Perm), également fabriquées au charbon de bois.

La tréfilerie et la clouterie ont pour représentants les produits des usines d'Aetsybyscheff, à Tourovo (Moscou), de Balascheff frères, à Novo-Nilkolskoï (Novgorod), de Bouïs (Moscou), de Paschkoff, de Zuckerwar (Varsovie).

Produits du traitement du cuivre. — Le cuivre travaillé figure principalement, à l'exposition russe, sous forme de samovars et bouilloires de différentes formes, dont la fabrication constitue une des principales industries du pays.

L'emploi du cuivre sous forme d'alliages n'est représenté que par les cloches exposées par M. Finlandsky (Moscou), qui fabrique annuellement plus de 160,000 kilogrammes de bronze en cloches.

Nous avons à mentionner en dehors de ces produits :

Les tôles de M. Demidoff (usines de Taguil), dont l'une mesure 4m.627 sur 1m.500, et pèse 642k.50.

Les tôles et les tuyaux coulés des usines d'Ijora (ministère de la marine).

Enfin, nous signalerons les spécimens de tuyaux en cuivre rouge, exposés par M. Fedorovski, inspecteur de l'établissement galvanoplastique de la marine, à Cronstadt, et obtenus par lui à l'aide d'un procédé galvanoplastique breveté. L'absence de soudures, la régularité d'épaisseur, la perfection de l'exécution, la possibilité d'obtenir ainsi sans difficulté les formes les plus compliquées et des pièces de grand diamètre d'un seul morceau donnent à ce procédé un vif intérêt; malheureusement le prix de revient très-élevé de ces objets (5f.62 à 9f.77 le kilogramme) ne permet pas de rendre encore l'application de ce procédé très-pratique, mais il est à espérer que des modifications ou des perfectionnements prochains viendront lui donner le développement dont il est susceptible, en raison des avantages que nous venons d'examiner. En attendant, il serait intéressant d'avoir quelques données sur la manière dont ces tuyaux se comportent dans la pratique, et s'ils offrent toute l'élasticité nécessaire pour *résister sans se briser* aux efforts qui résultent des effets de la dilatation et des causes accidentelles auxquels ils se trouveront inévitablement exposés dans l'industrie.

NOTE

SUR

LA THÉORIE DES VOUTES

DE M. YVON VILLARCEAU

ET SUR LES APPLICATIONS DE CETTE THÉORIE EN ESPAGNE

PAR

M. ÉDOUARDO SAAVEDRA, Professeur à l'École des ponts-et-chaussées de Madrid

PRÉSENTÉE PAR **M. GOSCHLER**

La construction des voûtes est une des plus anciennes pratiques de l'art de l'ingénieur. La série nombreuse des succès et des échecs éprouvés pendant tant de siècles a conduit à des lois purement empiriques, suffisantes pour la construction des voûtes stables, dans la plupart des cas; peut-être par cela même, plus encore qu'à cause des difficultés du problème, la théorie de ces ouvrages importants est restée en arrière des autres branches de la mécanique appliquée, et nous ne pouvons qu'applaudir à chaque tentative faite pour arriver à la connaissance du vrai rôle des forces dans l'intérieur d'une voûte stable sur ses appuis.

Depuis Coulomb, on ne peut signaler que les travaux de M. Méry comme ayant produit quelque idée nouvelle sur cette question, jusqu'à l'époque où M. Yvon Villarceau, en prenant les données du problème dans un sens inverse, s'est proposé de déterminer la forme de la voûte correspondante à certaines conditions du maximum de stabilité. Cela ne veut pas dire que l'on n'ait pas proposé un grand nombre de théories dans cet intervalle; mais, à notre avis, ces diverses théories reposent sur des données tout à fait arbitraires, ou sur des propositions non démontrées.

Le succès des mémoires de M. Yvon Villarceau, malgré la haute approbation de l'Académie dont il fait maintenant partie, se trouve presque limité au terrain purement scientifique, cet auteur étant resté à peu près étranger à la pratique de l'art de bâtir. Cependant, les critiques n'ont pas manqué : or, comme nous savons que M. Yvon Villarceau, au lieu de s'y arrêter, a estimé très-justement préférable de préparer une nou-

velle publication où les calculs qui ont rebuté tant de lecteurs peu patients seront exposés d'une manière simple et élégante, nous pensons qu'il sera de quelque utilité de faire, pour notre compte, un rapide examen de ces critiques auxquelles il n'a point encore été fait de réponse.

La dernière et la plus directe est due à un ingénieur de beaucoup de mérite, M. Drouets qui, dans un mémoire publié aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1865, sur la stabilité des voûtes, mémoire où il fait preuve d'une grande sagacité, par la rare élégance de ses solutions géométriques, consacre un chapitre, le onzième, à démontrer « qu'il n'existe pas de forme type des voûtes de pont, jouissant du maximum de stabilité. » L'auteur du mémoire fait allusion très-directement aux travaux de M. Yvon Villarceau, ainsi qu'à ceux de M. Denfert-Rochereau, dont nous nous occuperons plus loin.

M. Drouets passe sous silence une différence essentielle entre la théorie Villarceau et la sienne, différence qui tient à l'hypothèse de l'action de la surcharge sur l'extrados de la voûte. M. Yvon Villarceau admet que cette action est toujours normale à l'extrados, tandis que M. Drouets suit l'opinion la plus répandue, qui lui suppose une direction verticale. Cette différence est très-importante : en effet, quand on peut supposer les actions normales, il est aisé de comprendre qu'on peut faire les pressions normales au milieu de chaque joint, en prenant pour courbe moyenne de l'arc, la courbe funiculaire correspondante; mais quand les actions de la surcharge font un angle fini avec la normale à l'extrados, on démontre, sans calcul, qu'il est impossible de satisfaire à la fois aux deux conditions, que les pressions soient normales aux joints et que la résultante passe par le point milieu de chacun d'eux.

Mais M. Drouets s'obstine à vouloir démontrer que cette dernière condition, prise isolément, est encore inadmissible. Pour cela, il emploie plus d'une page de différentielles et d'intégrales, parmi lesquelles s'est glissée une erreur qui consiste à croire que la courbe-enveloppe des pressions est aussi le lieu géométrique des points d'intersection de chaque joint avec la pression correspondante. Ceci n'est vrai que si les pressions sont en même temps normales aux joints; par conséquent, c'est à tort qu'à la page suivante, on établit que la normalité des joints sur la courbe des pressions a été laissée de côté. L'auteur a démontré, sans s'en douter, que les *deux* conditions, prises *simultanément*, sont incompatibles avec la direction oblique à l'extrados, de l'action due à la surcharge. On voit par là que, même en rejetant l'hypothèse de M. Yvon Villarceau, il reste encore à faire dans la recherche des voûtes de plus grande stabilité.

Un an avant la publication de ce mémoire remarquable, en 1864, parut la traduction de l'ouvrage du Dr Scheffler. Nous n'avons pas l'intention d'analyser ce livre, jugé d'ailleurs par M. Le Blanc aux *Annales* de 1867. L'auteur allemand, toujours soucieux de M. Poncelet, a oublié

sans doute M. Yvon Villarceau; mais le traducteur, M. Fournié, se charge de combler la lacune, dans une note de la page 224. Quoi qu'il puisse dire que le texte et la doctrine générale y développée amènent d'eux-mêmes la conséquence, il est certain néanmoins qu'on y affirme que « les prétentions mises en avant par M. Yvon Villarceau sont inadmissibles, » sans autre démonstration que des réflexions sur l'action de la surcharge, copiées de M. Denfert-Rochereau. Après cela, on parle, sans connaissance suffisante, de l'étendue du mémoire, des intégrales elliptiques et l'on conclut à l'inutilité du travail pour les progrès de la théorie.

Il est bien étrange, cependant, que le traducteur trouve à donner des éloges au travail de M. Denfert-Rochereau, publié en 1859, qui poursuit le même but théorique de la plus grande stabilité, sous des conditions choisies d'avance, tout en s'inspirant des idées de M. Yvon Villarceau. Il diffère de cet auteur en deux points seulement : 1° quant à la direction de l'action de la surcharge sur l'extrados, qu'il suppose verticale; 2° quant au choix des conditions à remplir, puisqu'il fait varier la longueur des joints proportionnellement à l'intensité des pressions. Or, cette dernière condition à laquelle M. Villarceau a dû ne pas satisfaire, étant sans importance réelle dans la pratique, le seul point sérieux de critique est celui de fixer la direction des réactions sur l'extrados. Si, en s'appuyant sur l'existence de la cohésion et du frottement lors du décintrement, on assure que leurs résultantes ne seront pas normales à la chappe de la voûte, on peut affirmer de même qu'elles ne seront pas non plus verticales, si ce n'est au voisinage de la clef où les deux hypothèses se confondent.

Dans l'impossibilité actuelle d'obtenir, au moyen de la seule théorie, une solution rigoureuse, il reste à chercher laquelle des deux hypothèses conduit aux résultats les plus rapprochés de la vérité. C'est donc à l'expérience qu'on doit aujourd'hui demander une réponse : voilà le motif qui nous engage à écrire cette note.

Depuis quelques années, on enseigne en Espagne, dans tous ses détails, la théorie de M. Y. Villarceau, à l'École des ponts et chaussées, et cette théorie a déjà reçu chez nous quelques applications heureuses. L'ingénieur Martinez Campos a fait, à l'Estramadura, le pont de Garganta-Ancha, de trois arches de 14 mètres de portée, dont les dessins ont figuré à l'Exposition universelle de 1867, et dont la parfaite réussite a donné, parmi nous, une solide réputation au système de l'astronome français. Après cela, en 1865, nous avons entrepris une expérience directe, en construisant une arche d'épreuve de 19 mètres de portée. En admettant toutes les hypothèses de M. Villarceau et en appliquant aux inflexions observées après le décintrement une méthode de calcul qui nous est propre et que nous avons déjà publiée en 1860, nous avons trouvé l'accord le plus parfait entre la théorie et l'expérience. Par là

nous sommes en mesure d'assurer que, si les actions de la surcharge n
sont pas normales à l'extrados, l'écart est resté sans influence sur le
résultats positifs de nos observations pratiques. Ce n'est pas ici le lie
de nous arrêter sur ces résultats qui ont été exposés, avec tous les d
tails nécessaires, dans une publication technique (*Revista de obras publi
cas*, t. XIV, 1866) : notre but est seulement de faire connaître que l'exp
rience a prononcé en faveur des arches du système Villarceau et que,
elles ne sont pas douées du *maximum absolu* de stabilité, elles en po
sèdent une proportion supérieure à tout ce qu'on a mis à exécuti
jusqu'à ce jour.

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 6 NOVEMBRE 1868.

Après cette communication, M. Goschler croit devoir faire remarquer que la th
rie de notre confrère n'est pas seulement appliquée en Espagne, comme il sem
rait résulter de la note en question. Plusieurs ponts de la ligne de Paris-Mulh
ont été construits suivant la théorie de M. Yvon Villarceau. Les ingénieurs ne s
pas tenus d'indiquer les méthodes qu'ils suivent ; c'est à cela sans doute qu'il f
attribuer l'absence de documents sur les autres applications qui ont pu être fa
en France d'une théorie connue depuis vingt ans.

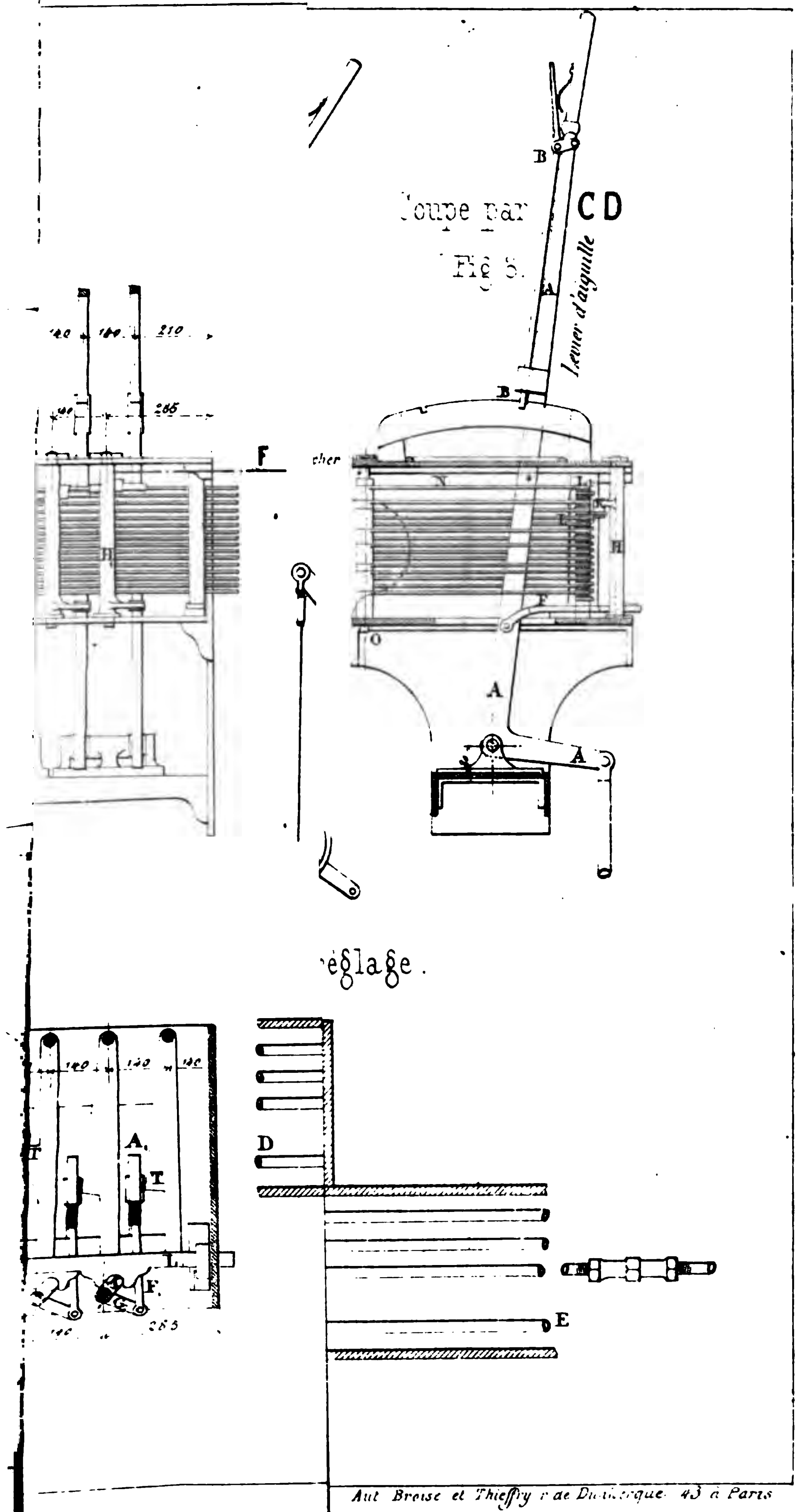
M. Goschler appelle l'attention de la Société sur une méthode très-ingénieuse
M. Edouardo Saavedra a imaginée, pour prévenir les déformations qui peuvent s
venir pendant l'exécution de la chape et de la surcharge. La forme des voûtes
système de M. Villarceau est étudiée pour réaliser l'équilibre mathématique,
l'action de la surcharge complète : on ne peut donc pas compter généralement
la figure de la voûte se conservera pendant la construction de la chape et de la
charge, tant que celle-ci ne sera pas entièrement achevée, à moins de laisse
voûte sur les cintres. Or, on sait à quels inconvénients la construction serait
posée, si l'on attendait, pour opérer le décintrement, l'entier achèvement des
vaux. Voici comment M. Saavedra lève cette difficulté.

Par un calcul facile, il détermine un premier profil tangent à l'extrados d
voûte et qui limite la partie de la surcharge à construire pendant que la voût
sur les cintres : ce profil satisfait à la condition que la distribution des pres
après le décintrement donne lieu à une courbe se confondant sensiblement
celle correspondante à l'action de la surcharge entière ; la seule différence que
sente la voûte dans les deux états réside uniquement dans la différence des in
sités des pressions. La surcharge, limitée comme il vient d'être dit, étant réal
on peut procéder au décintrement : cette opération n'est suivie d'autre déf
tion de la voûte, que d'une légère inflexion dont on peut tenir compte à l'av
en préparant convenablement les gabarits des cintres.

Considérons actuellement les ordonnées verticales du premier profil ci-dessus
rapport au plan horizontal qui doit limiter la surcharge totale, et partageons t
ces ordonnées dans un même rapport, les points que l'on obtiendra ainsi appar
dront à une courbe qui jouit des mêmes propriétés que le premier profil. La c
quence est simple : on partage les ordonnées de ce profil en nombres égaux de
ties, et les points correspondants de division fournissent autant de nouveaux p
d'équilibre que chaque ordonnée présente de points de division. Il ne s'agit plu
lors que de faire exécuter la construction de la chape et du reste de la surch
par zones comprises entre deux profils consécutifs.

M. Goschler estime que cette ingénieuse méthode mérite d'être recommand
l'attention des ingénieurs.

Paris. — Imprimerie P.-A. Bourdier, Capiomont et Cie, 6, rue des Poitevins.



Aut. Broise et Thieffry r. de Dunkerque 43 à Paris

nous sommes en mesure d'assurer que, si les actions de la surcharge ne sont pas normales à l'extrados, l'écart est resté sans influence sur les résultats positifs de nos observations pratiques. Ce n'est pas ici le lieu de nous arrêter sur ces résultats qui ont été exposés, avec tous les dé- tails nécessaires, dans une publication technique (*Revista de obras publi- cas*, t. XIV, 1866) : notre but est seulement de faire connaître que l'expé- rience a prononcé en faveur des arches du système Villarceau et que, s elles ne sont pas douées du *maximum absolu* de stabilité, elles en pos- sèdent une proportion supérieure à tout ce qu'on a mis à exécutio jusqu'à ce jour.

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 6 NOVEMBRE 1868.

Après cette communication, M. Goschler croit devoir faire remarquer que la thé rie de notre confrère n'est pas seulement appliquée en Espagne, comme il semb rait résulter de la note en question. Plusieurs ponts de la ligne de Paris-Mulhou ont été construits suivant la théorie de M. Yvon Villarceau. Les ingénieurs ne s pas tenus d'indiquer les méthodes qu'ils suivent; c'est à cela sans doute qu'il f attribuer l'absence de documents sur les autres applications qui ont pu être fai en France d'une théorie connue depuis vingt ans.

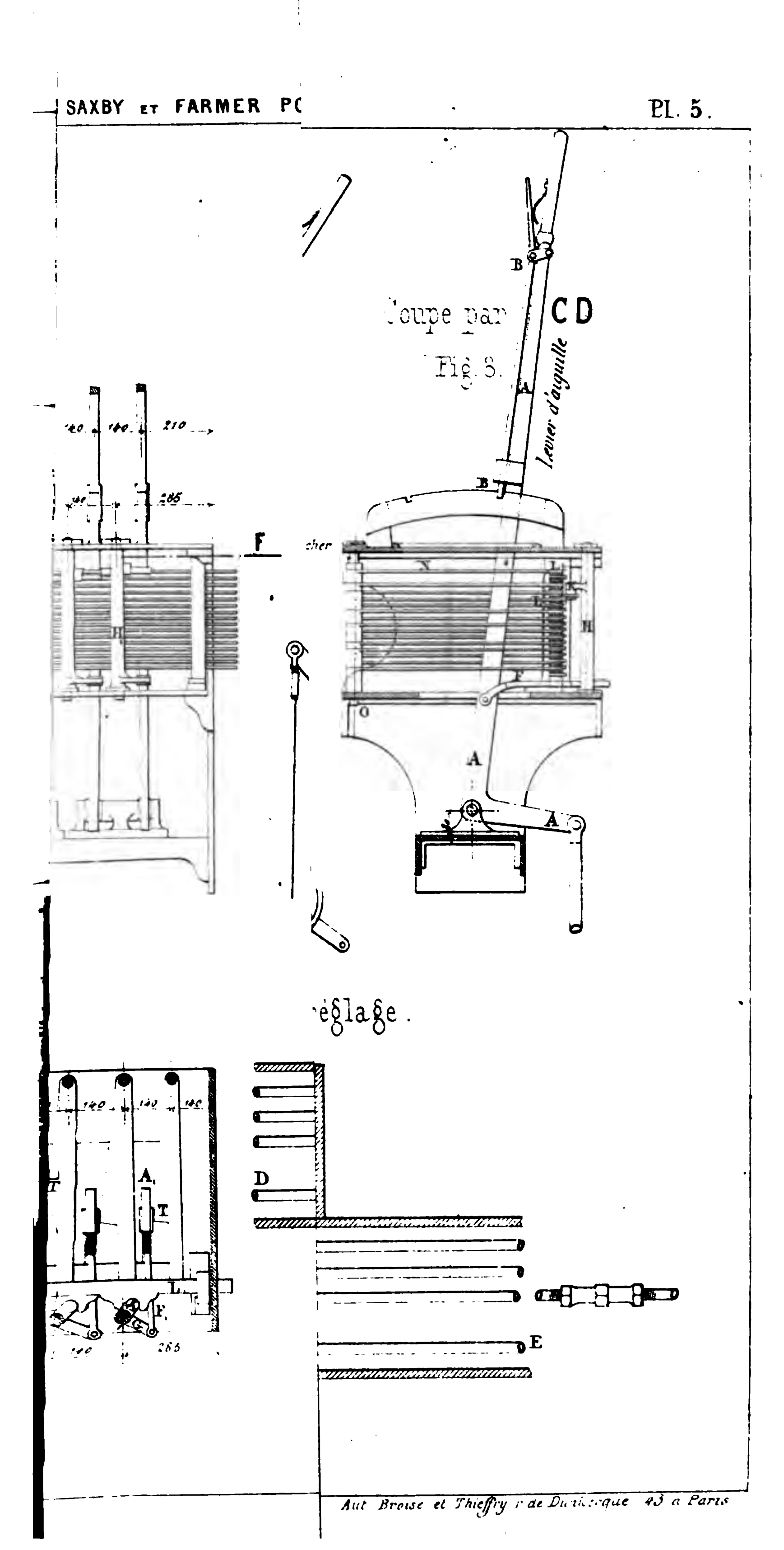
M. Goschler appelle l'attention de la Société sur une méthode très-ingénieuse q M. Edouardo Saavedra a imaginée, pour prévenir les déformations qui peuvent su venir pendant l'exécution de la chape et de la surcharge. La forme des voûtes système de M. Villarceau est étudiée pour réaliser l'équilibre mathématique, s l'action de la surcharge complète : on ne peut donc pas compter généralement q la figure de la voûte se conservera pendant la construction de la chape et de la s charge, tant que celle-ci ne sera pas entièrement achevée, à moins de laisse voûte sur les cintres. Or, on sait à quels inconvénients la construction serait posée, si l'on attendait, pour opérer le décintrement, l'entier achèvement des vaux. Voici comment M. Saavedra lève cette difficulté.

Par un calcul facile, il détermine un premier profil tangent à l'extrados de voûte et qui limite la partie de la surcharge à construire pendant que la voûte sur les cintres : ce profil satisfait à la condition que la distribution des pressi après le décintrement donne lieu à une courbe se confondant sensiblement a celle correspondante à l'action de la surcharge entière; la seule différence que p sente la voûte dans les deux états réside uniquement dans la différence des int sités des pressions. La surcharge, limitée comme il vient d'être dit, étant réali on peut procéder au décintrement : cette opération n'est suivie d'autre défor tion de la voûte, que d'une légère inflexion dont on peut tenir compte à l'avan en préparant convenablement les gabarits des cintres.

Considérons actuellement les ordonnées verticales du premier profil ci-dessus, p rapport au plan horizontal qui doit limiter la surcharge totale, et partageons to ces ordonnées dans un même rapport, les points que l'on obtiendra ainsi apparti dront à une courbe qui jouit des mêmes propriétés que le premier profil. La co quence est simple : on partage les ordonnées de ce profil en nombres égaux de p ties, et les points correspondants de division fournissent autant de nouveaux pr d'équilibre que chaque ordonnée présente de points de division. Il ne s'agit plu lors que de faire exécuter la construction de la chape et du reste de la surcha par zones comprises entre deux profils consécutifs.

M. Goschler estime que cette ingénieuse méthode mérite d'être recommandé l'attention des ingénieurs.

Paris. — Imprimerie P.-A. Bourdier, Capiomont et Cie, 6, rue des Poitevins.



Aut Broise et Thieffry r de Dunkerque 43 a Paris

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1868

N° 4

Pendant ce trimestre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Ventilation par l'air comprimé*, par M. Piarron de Mondesir, ingénieur des ponts et chaussées (séance du 2 octobre, page 544) (voir le mémoire, page 491).

2° *Signaux employés en Angleterre pour es bifurcations et les grandes gares de chemins de fer*, par M. Tardieu (séances des 2 et 16 octobre et 6 novembre, pages 544, 545 et 551) (voir le mémoire, page 467).

3° *Machines marines* (*conditions de travail et utilisations des*), par MM. Normand et Mallet (séances des 16 octobre, 6 novembre et 4 décembre, pages 546, 552 et 577).

4° *Locomotive à rail central*, par M. de Landsée (séance du 20 novembre, page 567).

5° *Éclissage des voies ferrées, système Tudor*, par M. Bobin (séance du 4 décembre, page 571).

6° *Trafic probable des chemins de fer d'intérêt local*, analyse par M. Richard, du travail de M. Michel, ingénieur des ponts et chaussées (séance du 4 décembre, page 573).

7° *Situation financière de la Société*, par M. Loustau, trésorier (séance du 18 décembre, page 590).

8° *Élections des membres du bureau et du comité* (séance du 18 décembre 1868, page 591).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un exemplaire du *Bulletin mensuel de l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures.*

2° De M. Germon, membre de la Société, un exemplaire des trois *Albums du matériel du chemin de fer du nord de l'Espagne, machines, tenders et wagons.*

3° De M. Gouilly, membre de la Société, une note sur un nouveau projet d'*enregistreur électro-magnétique.*

4° De M. Jullien, membre de la Société, des exemplaires de sa brochure intitulée : *A propos du rapport de M. Dumas sur les travaux des chimistes français.*

5° De M. Ball, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur la *Mensuration des corps gazeux, et particulièrement du gaz d'éclairage.*

6° De M. Petitgand, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur *le cuivre, son histoire, ses usages. État présent. Méthodes et procédés de traitement*, etc.

7° De MM. Normand et Mallet, un Mémoire sur *les conditions de travail, l'utilisation et les résultats des divers systèmes de machines marines.*

8° De M. Servier, membre de la Société, un exemplaire du *Traité d'éclairage par le gaz*, par N.-H. Schilling (traduit de l'allemand).

9° De M. de Landsée, membre de la Société, une note sur les *machines locomotives à rail central.*

10° De M. Prosper Tourneux, inspecteur général des ponts et chaussées, un exemplaire de son *Rapport sur la réforme du tarif des voyageurs en Belgique.*

11° De la Société impériale et centrale d'agriculture, un exemplaire des *Mémoires d'agriculture, d'économie rurale et domestique.*

12° De M. Fiévet, membre de la Société, un exemplaire d'une traduction qu'il a faite de *Documents concernant le haut-fourneau pour la fabrication de la fonte et du fer.*

13° Les procès-verbaux de la 23° section chargée, pendant l'Exposition de 1867, d'étudier le *matériel et procédés du Génie civil, des travaux publics et de l'architecture.*

14° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire du quatrième volume de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.*

15° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire de la troisième livraison de sa *Revue de l'Exposition de 1867.*

16° De M. Huin, ingénieur des constructions navales, un exemplaire de sa *Théorie et description des régulateurs marins isochrones à bras et à bielles croisés à deux centres d'oscillation, de MM. Farcot et ses fils.*

17° De M. Cialdi, membre de la Société, un exemplaire de sa lettre à M. Ferdinand de Lesseps sur le *port Saïd.*

18° De M. Bassompierre, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire de l'*Album photographique du pont-viaduc sur la Seine au Point-du-Jour* (*chemin de fer de Ceinture*).

19° De M. Krupp, membre de la Société, un exemplaire d'un *Rapport sur les tirs d'expérience exécutés à Essen, avec un canon en acier fondu du calibre de 11 pouces.*

20° De M. Vidard, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure intitulée : *L'État et les Compagnies de chemins de fer. De quelques questions de sécurité et d'économie.*

21° De M. Phil, ingénieur en chef, un exemplaire de son rapport sur le *Système de chemins de fer adopté en Norwége.*

22° De M. Piquet, membre de la Société, une note sur les *Kaolins de Corcedilla, province de Madrid* (*Espagne*), *et une note sur l'Essai des plombs argentifères.*

23° De M. Desbrière, membre de la Société, deux exemplaires de la *Circulaire en date du 15 août 1868, adressée aux Présidents des Conseils généraux des départements par la Compagnie des chemins de fer à rail central* (*système Fell*), *relative à l'application des routes existantes à la construction des chemins d'intérêt local.*

24° Deux exemplaires d'un travail de M. Eug. Flachat sur *la Suisse et les communications du système Fell à la traversée des Alpes.*

25° De M. Monot, membre de la Société, un exemplaire du *Rapport de la commission chargée des intérêts du chemin de fer d'intérêt local de Guise à Saint-Quentin.*

26° De M. Ferdinand de Lesseps, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur le *Transit des navires au canal de Suez.*

27° De M. le consul général d'Autriche, à Paris, un exemplaire de la *Publication des expériences faites en 1867, en Autriche, sur les machines et l'exploitation des mines.*

28° De M. Grateau, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Minerais de fer à l'Exposition universelle.*

29° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins.*

30° De M. Piarron de Mondesir, ingénieur des ponts-et-chaussées, un Mémoire sur la ventilation par l'air comprimé.

31° De M. d'Aligny, membre de la Société : 1° Trois exemplaires de son *Rapport sur le matériel et les procédés de la couture (confection des vêtements) à l'Exposition universelle;* 2° des exemplaires photographiques de *six types de machines locomotives à l'Exposition universelle.*

32° De M. Evrard Alfred, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur l'*Extraction et le roulage à l'Exposition universelle (Exploitation des mines).*

33° De M. Sandberg, membre de la Société, des *Tableaux statistiques sur la construction, le matériel et l'exploitation des chemins de fer norwégiens.*

34° De M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un exemplaire du *Rapport de la commission chargée d'étudier l'organisation de l'enseignement technique en France.*

35° De la Société des ingénieurs civils d'Ecosse, *leurs Bulletins des années* 1857 *à* 1868.

36° De l'institution *of Mechanical Engineers*, les numéros de janvier, février, mars et avril 1868 de son bulletin.

37° *De la Société industrielle de Reims*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1868 de son bulletin.

38° De la *Revue horticole*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

39° De la *Gazette du Village*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

40° De la *Sociéte des ingénieurs autrichiens*, leur *Revue périodique ;* les numéros du troisième trimestre 1868.

41° Du *Journal Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, les numéros de 1868 et le premier numéro de 1869.

42° De la *Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, le numéro du premier et du deuxième trimestre 1868 de son bulletin.

43° Du *Journal d'agriculture pratique*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

44° De la *Revue d'architecture*, les numéros 5 et 6 de l'année 1868.

45° De la revue *les Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

46° Du journal *The Engineer*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

47° De la *Société d'encouragement*, les numéros du quatrième trimestre 1868 de son bulletin.

48° De la *Société de géographie*, les numéros du quatrième trimestre 1868 de son bulletin.

49° De la *Société impériale et centrale d'agriculture*, le numéro d'août 1868 de son bulletin.

50° Du journal *l'Invention*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

51° De la *Revista de obras publicas*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

52° De la *Revue des Deux-Mondes*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

53° De la *Revue contemporaine*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

54° Du journal *le Moniteur des travaux publics*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

55° Du *Journal de l'éclairage au gaz*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

56° Du journal *l'Isthme de Suez*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

57° Des *Annales du Génie civil*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

58° Du *Journal des chemins de fer*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

59° Du journal *le Cosmos*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

60° Du *Génie industriel*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

61° Du journal *la Semaine financière*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

62° Des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*, les numéros du troisième trimestre 1868.

63° Des *Nouvelles Annales de la construction*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

64° Du *Portefeuille économique des machines*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

65° Du *Propagateur des travaux en fer*, le numéro du quatrième trimestre 1868.

66° Des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

67° De la *Propagation industrielle*, les numéros d'août, septembre, octobre, novembre et décembre 1868.

68° Du journal *Engineering*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

69° Des *Annales des ponts et chaussées*, les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1868.

70° Du *Comité des forges de France*, les numéros 42, 43, 44 et 45 de son bulletin.

71° De la *Société industrielle de Mulhouse*, les numéros d'août, septembre, octobre, novembre et décembre 1868 de son bulletin.

72° De l'*Association des anciens élèves de l'École de Liége*, le numéro du troisième et quatrième trimestre de 1868 de son bulletin.

73° Des *Annales des mines*, les numéros de la première, deuxième, troisième, quatrième et cinquième livraison de 1868.

74° De la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*, les numéros de mai, juin, juillet et août 1868.

75° De l'*Aéronaute*, bulletin international de la navigation aérienne, les numéros du quatrième trimestre 1868.

76° Du *Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture*, les numéros du quatrième trimestre 1868.

77° *Société impériale des sciences de l'agriculture et des arts de Lille*, le numéro de décembre 1868 de son bulletin.

78° *A Magyar Mémök-Egyesület Közlonye*, numéros de juillet et août 1868.

79° De la Société des Ingénieurs de Londres, un exemplaire de leurs Transactions de l'année 1867.

Les Membres admis pendant le quatrième trimestre sont :

Au mois d'octobre :

MM. Barnès, présenté par MM. Desbrière, E. Flachat et Molinos.
Chaligny, présenté par MM. Calla, Love et Nordling.
Meliton (Martin), présenté par MM. Bevan de Massy, J. Garnier et Javal.

Au mois de novembre :

MM. Foulon y Tudo, présenté par MM. Brialmont, Pichault et Levassor.
Thomas (Emilien), présenté par MM. Barrault, Callon et Fiévet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IVe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1868

Séance du 2 Octobre 1868.

Présidence de M. Alcan, *Vice-Président.*

Le procès-verbal de la séance du 18 septembre est adopté.

M. le Président donne la parole à M. Piarron de Mondesir pour sa communication sur la ventilation par l'air comprimé. (Voir ce Mémoire, page 491.)

M. le Président donne la parole à M. Georges Tardieu, pour une communication sur les systèmes de signaux employés en Angleterre pour les bifurcations et les grandes gares de chemins de fer.

Cette intéressante communication devant être publiée *in extenso* dans le Bulletin, il n'en est donné ici qu'un aperçu sommaire.

Les prescriptions réglementaires en France font des bifurcations des causes d'allongement sensibles dans la durée des grands trajets.

Les points principaux qui caractérisent le système universellement employé en Angleterre sont les suivants :

Les signaux sont tenus ordinairement à l'arrêt, et ne peuvent être manœuvrés par l'aiguilleur que si la voie correspondante à chacun d'eux est libre, grâce à des enclanchements particuliers.

Tous les leviers de manœuvre d'aiguilles et de signaux sont réunis dans un seul bâtiment, souvent situé au-dessus de la bifurcation.

Les trains peuvent passer aux embranchements en vitesse, et plusieurs à la fois.

Les leviers peuvent manœuvrer des changements de voie situés à 200 mètres, et les tringles sont munies d'un balancier compensateur pour annuler l'influence de la dilatation.

L'exemple le plus frappant de la concentration des manœuvres est celui de la gare de Cannon-Street, gare du South-Eastern railway, et où deux hommes le jour et un la nuit suffisent à manœuvrer trente-six sémaphores, huit signaux et vingt-trois

changements de voies. Des enfants manœuvrent les appareils télégraphiques et notent les heures de passage des trains.

M. Tardieu présente à la Société des photographies de postes des diverses gares et bifurcations, et montre sur des figures les détails du système d'enclanchement de MM. Saxby et Farmer au moyen duquel l'aiguilleur est dans l'impossibilité de laisser engager deux trains sur la même voie.

M. le Président demande quelle conclusion M. Tardieu tire de sa communication.

M. Tardieu dit que le système qu'il expose à la Société, et qui est exclusivement employé en Angleterre, pourrait rendre de grands services dans les gares importantes.

M. Ball demande comment fait l'aiguilleur quand un train demande le passage, et que le levier de manœuvre qui doit le lui livrer est enclanché par suite d'une manœuvre précédente.

M. Tardieu fait observer que les enclanchements sont précisément destinés à empêcher l'aiguilleur de faire simultanément deux manœuvres susceptibles d'occasionner un accident. Il est clair dès lors que si un train demande le passage sur une voie déjà occupée, il est arrêté par les signaux jusqu'à ce que, le premier train étant éloigné, l'aiguilleur ait amené au repos les leviers de commande qui lui avaient ouvert la voie, pour pouvoir livrer passage au second train. Un appareil de ce système fonctionne, à titre d'essai, à Moret, sur la ligne de Paris-Lyon-Méditerranée.

M. Callon demande si ce n'est que par économie qu'on emploie en Angleterre des enfants dans ces manœuvres.

M. Tardieu fait remarquer que les enfants n'ont d'autre emploi que la manœuvre des signaux télégraphiques et l'inscription des heures de passage des trains.

M. Dallot insiste sur la sécurité très-grande que procurent ces appareils dans les embranchements très-fréquentés. Ils n'ont encore, à sa connaissance, donné lieu à aucun accident en Angleterre où ils sont appliqués d'une manière générale.

Séance du 16 Octobre 1868.

Présidence de M. Vuillemin, *Vice-Président.*

Le procès-verbal de la séance du 2 octobre est adopté.

M. Eugène Flachat présente quelques observations sur la communication de M. Tardieu, relative au système de signaux de MM. Saxby et Farmer.

Le principe de ce système est de faire dépendre la manœuvre des aiguilles donnant la direction aux trains, de la manœuvre préalable des signaux qui ouvrent et ferment les voies; d'empêcher la manœuvre simultanée d'aiguilles dans des directions qui pourraient faire naître des collisions. En un mot, de ne permettre la circulation des trains qu'après que leur marche est protégée

Or, ce principe a reçu en France de très-nombreuses applications, longtemps avant que l'usage en ait été introduit en Angleterre. Il y a plus, les principaux procédés par lesquels la sécurité de la marche des trains s'est progressivement accrue ont été inventés et appliqués en France avant de l'être nulle part ailleurs.

Dans les premières années les voies et les trains étaient gardés par des cantonniers placés à de faibles distances, et munis de drapeaux ou de lanternes.

A la suite d'accidents dont ces cantonniers furent trop souvent victimes, il fut fait usage, sur les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, de disques-signaux placés en dehors des voies. C'était en 1840. Un an après, ces signaux furent adoptés en Angleterre sous la forme d'une planche mobile attachée à un mât.

Quatre ans plus tard, en 1844, sur les mêmes chemins de fer français, les cantonniers attachés à la manœuvre de ces signaux furent placés aux stations et aux passages à niveau, et les signaux furent manœuvrés à distance comme ils le sont aujourd'hui. Ce ne fut que trois ans après que ce moyen de manœuvre fut introduit en Angleterre.

Enfin le troisième perfectionnement, celui de rendre la manœuvre des aiguilles dépendante de celle des signaux, appliqué en premier lieu au même chemin de fer de Saint-Germain, était depuis plusieurs années en usage en France, lors de l'Exposition universelle de 1862. Il fut alors exposé par son inventeur, M. Vignier, aujourd'hui ingénieur d'une section de l'entretien des chemins de fer de la banlieue de l'Ouest, sous les ordres de M. Clerc, ingénieur en chef de la surveillance, qui en a généralisé l'application sur le réseau de l'Ouest. — Il fut l'objet d'une demande de médaille d'or, dans la classe des chemins de fer. La proposition, défendue par M. Eugène Flachat, membre du jury pour la France, fut écartée par les ingénieurs anglais comme ne présentant pas un nombre d'applications suffisant pour constater son efficacité, et d'ailleurs totalement inconnu en Angleterre. En un mot, il fut traité avec une extrême indifférence. Ce ne fût que plusieurs années après que le mérite du principe fut reconnu en Angleterre, et qu'il y devint l'objet de plusieurs brevets, dont les appareils ont été exposés en 1867. Mais cette année, le jury éclairé sur ces faits n'hésita pas à proposer qu'un grand prix fût accordé à M. Vignier, et l'obtint. Le Directeur de la Compagnie de l'Ouest signala l'importance du service rendu, et M. Vignier reçut la décoration de la Légion d'honneur. L'intéressant rapport de M. Morandière, inséré à la collection officielle des travaux du jury est à consulter à cet égard.

Quant au procédé de MM. Saxby et Farmer, il peut lui être fait trois objections auxquelles le système Vignier n'est pas exposé : 1° la manœuvre des aiguilles à distance exclut toute surveillance directe de l'état de ces aiguilles; 2° la manœuvre de l'aiguille peut être oubliée; 3° le peu de temps nécessaire entre la manœuvre du disque et celle de l'aiguille permet aux aiguilleurs de créer un état de choses susceptible de compromettre, à coup sûr, les agents du service de traction, pour couvrir leur propre responsabilité en cas d'accident ou de chance d'accident tenant à leur négligence ou à leur oubli.

Une discussion approfondie sur le mérite comparatif des deux systèmes serait donc utile ; mais, dès à présent, ce qui est incontestable c'est que le principe de cette invention salutaire est dû aux ingénieurs français, et que l'application a été faite par eux longtemps avant que son efficacité pour prévenir les accidents fût reconnue en Angleterre.

MM. Benjamin Normand et A. Mallet présentent à la Société la communica-

tion qu'ils ont annoncée sur les conditions de travail et les utilisations des machines marines.

MM. Normand et Mallet ont l'espoir de fournir dans ce mémoire un résumé fidèle de tous les progrès qui ont été successivement réalisés dans les machines marines et un tableau de l'état d'avancement où celles-ci sont parvenues dans les principaux centres de construction de l'ancien et du nouveau monde.

Avec les documents nombreux qu'ils ont rassemblés, ils pourront établir, au point de vue des plus importants caractères de la machine marine, les degrés relatifs de perfectionnement qu'elle a successivement conquis, et enfin ceux encore très-inégaux qui sont réalisés par les divers modes de fonctionnement usités aujourd'hui.

L'examen de ces résultats, en outre de l'intérêt qui doit s'attacher à la bonne construction d'un agent chaque jour plus prépondérant dans la marine commerciale, devenu le moteur presque exclusif du navire de guerre, offre à tous les ingénieurs un champ utile de comparaisons et d'enseignements, non pas tant par les proportions incomparables des applications modernes de la machinerie navale, que par les utilisations supérieures des matériaux des forces et des espaces qui sont la loi imposée pour tout ce qui appartient au navire.

Si l'on considère en lui-même l'objet de la machine marine, lequel consiste uniquement à produire de la force motrice (en réservant les questions mixtes relatives à la propulsion qui dépendent à la fois de la machine et du navire), on reconnaît que le problème est essentiellement simple et qu'il fournit dans ses résultats, toujours et rigoureusement comparables entre eux, les éléments de la plus exacte appréciation.

Pourrait-on affirmer qu'il en est ainsi dans la pratique de nos grands intérêts maritimes, et les auteurs du mémoire ne sont-ils pas fondés à penser que cette grande question aussi importante pour la prospérité commerciale de la France, que pour sa force militaire, aurait été depuis longtemps établie dans son véritable jour, si la confusion et l'obscurité n'avaient été entretenues comme à plaisir dans certaines régions intéressées?

On sait les conséquences déplorables de cet état de choses, les mécomptes répétés, qui, dans notre marine militaire, ont été le fruit de la domination exclusive et ombrageuse du génie maritime, et l'échec qui a signalé son intervention dans l'élaboration du premier matériel de la Compagnie générale Transatlantique. Dans cette circonstance, une infériorité d'un cinquième dans la vitesse, correspondante à une perte de moitié sur l'utilisation, a montré ce que valait cet indifférentisme de quelques théoriciens faciles à satisfaire, dont les prétentions scientifiques tendent généralement à établir que tous les systèmes sont équivalents, ou du moins que les différences dans les résultats sont insignifiantes.

MM. Normand et Mallet veulent avant tout bien préciser l'état des choses et montrer les énormes distances qui séparent une routine aveugle de ces résultats supérieurs, que des applications nombreuses établissent aujourd'hui comme sûrement et certainement réalisables. Ils ont recueilli une masse imposante de faits qu'ils peuvent présenter avec toute confiance dans leur exactitude, car ils émanent de sources officielles ou des auteurs les plus autorisés, ou résultent de leurs observations personnelles.

Le problème de la détermination du meilleur système de machine marine se résume toujours et essentiellement dans la recherche ou la constatation du maximum

totalisé des trois ordres d'utilisations énumérés ci-après dans l'ordre où s'établit presque toujours leur importance relative :

1° Utilisation des poids;

2° Utilisation du combustible;

3° Utilisation des dépenses de capital, d'entretien, de personnel et de frais accessoires de service.

Pour mieux préciser la marche de leur travail et écarter dès le début la crainte de complications que le sujet heureusement ne présente pas, MM. Normand et Mallet croient devoir établir dès le début de leur travail qu'il n'existe aucune incompatibilité entre les deux ordres de supériorités qu'ils viennent d'énumérer; que celles-ci peuvent être ainsi étudiées d'une manière distincte et plus facile; que bien loin d'avoir à faire des compensations entre certains avantages et des aggravations qui par ailleurs viendraient les réduire, les diverses utilisations se prêtent un mutuel concours. Ainsi l'économie de combustible peut être réalisée dans une machine très-légère, et la plus grande partie des frais d'entretien, de personnel et de service se trouvent allégés dans la proportion même de l'économie réalisée dans la dépense de vapeur.

Les auteurs de la communication ont pensé que le moyen le plus sûr et le plus exact pour comparer entre eux un grand nombre de valeurs ou de quantités, était la formation de tableaux graphiques où ces quantités se trouvassent représentées par des grandeurs proportionnelles.

Ce mode d'exposition présentait d'ailleurs, pour le cas actuel, cet éminent avantage, que les résultats à étudier étant essentiellement influencés par des conditions diverses de grandeur ou de forme d'application, ces valeurs pouvaient être classées dans les tableaux dans un ordre dépendant de l'élément qui influe le plus sur leur constitution.

Les tableaux donnés par MM. Normand et Mallet sont au nombre de quatre.

Le premier représente les poids comparatifs des appareils moteurs complets (machine, chaudière, eau et propulseur) par cheval brut de 75 kilogrammètres par seconde mesurés à l'indicateur sur les pistons.

Le deuxième représente le rendement effectif de puissance mesuré à l'indicateur par cheval nominal.

Le troisième indique les consommations de combustible, toujours par cheval indiqué de 75 kilogrammètres.

Le quatrième et dernier tableau représente les poids totalisés de l'appareil moteur complet avec l'approvisionnement de combustible pour cinq jours (120 heures) de marche à toute puissance.

Sur ces tableaux figurent les résultats de plus de *cent* machines marines.

Pour les grandes questions élucidées dans chacun d'eux, on peut embrasser d'un regard les différences considérables qui séparent les résultats fournis par les divers systèmes de construction qui ont été ou qui sont encore en usage. La marche rapide des progrès accomplis dans ces dernières années par les constructeurs qui, dans tous les pays, ont tenu à honneur de rester au premier rang de la profession, y forme un contraste choquant avec la situation arriérée que quelques ingénieurs croient toujours possible de garder.

C'est avec un profond regret que MM. Normand et Mallet ont été dans l'obligation de constater la situation désavantageuse occupée dans ces rapprochements par

presque tous les types d'appareils moteurs de la flotte française. Si ces infériorités eussent été accidentelles ou peu importantes, les auteurs du mémoire se fussent certainement abstenus de signaler une situation pénible pour tous ceux qui ont à cœur la considération de leur pays.

Mais il n'en est pas ainsi : l'infériorité de puissance effective des machines de la marine impériale est un fait malheureusement général depuis vingt-cinq ans, et il s'aggrave de plus en plus.

Il est établi aujourd'hui que les vaisseaux anglais, récemment construits, disposent d'une puissance effective, presque double de celle des vaisseaux de la flotte française.

Le rendement par cheval nominal, qui, dans la marine impériale, n'a encore jamais atteint 300 kilogrammètres, est fixé pour les nouveaux bâtiments de la flotte anglaise à 450, et sur un certain nombre d'entre eux il dépasse *cinq cents* kilogrammètres. Or le jour n'est-il pas venu où, selon la parole prophétique d'Arago, on doit combattre sur mer autant avec des machines qu'avec des canons?

Il y a un an, M. Normand signalait à la Société des ingénieurs civils la supériorité de dimensions des machines de la marine anglaise, comparées à celles de nos bâtiments. M. de Freminville, sous-directeur de l'École du génie maritime, dans son rapport sur l'Exposition universelle de 1867, reconnaît parfaitement ces différences. La machine de la *Sapho*, exposée par M. John Penn, de 350 chevaux nominaux, serait, avec la formule éternelle de la marine impériale, classée à *sept cents chevaux*.

En présence d'un parti pris invincible, qui depuis trop longtemps voit sans s'émouvoir apparaître les comparaisons les plus inquiétantes pour notre puissance maritime, le vrai patriotisme doit consister à dire toute la vérité sans crainte et à signaler les périls vers lesquels la fausse science nous entraîne.

Contre ces dangers, les auteurs du mémoire invoquent avec confiance l'action et l'influence de la Société des ingénieurs civils, qui moins par le grand nombre de ses membres que par l'importance, le caractère pratique et l'universalité de leurs travaux, constitue une haute expression de la vraie science dans notre pays.

Après avoir signalé ainsi l'importance du sujet et la gravité du résultat d'ensemble des investigations qu'il a accomplies avec M. Mallet, M. Normand entreprend la discussion détaillée des faits relatifs à la première question posée : *Le poids des appareils moteurs par unité de puissance effective.*

Cette question est la plus importante de celles que présente la machine marine, et c'est sur ce point qu'apparaissent les différences les plus considérables entre les diverses utilisations.

Une loi générale méconnue jusqu'ici domine toute cette question et doit être tout d'abord établie pour l'intelligence des faits qui sans elle paraîtraient inexplicables et donneraient lieu, comme il est arrivé trop souvent, aux plus fâcheuses méprises.

Dans tout ensemble de machines et de chaudières le poids total se compose de diverses parties distinctes : l'appareil évaporatoire, formé d'éléments toujours semblables entre eux (foyers, carneaux ou tubes) et ne différant que par le nombre de ces parties. Le poids total des chaudières et de l'eau est donc, pour chaque système, sensiblement proportionnel à la puissance à fournir.

Dans la machine proprement dite il en est tout autrement, et, pour le même système, les poids varient dans la proportion la plus rapide avec les diverses puissances des machines.

Les dimensions des organes étant presque toutes proportionnées aux cylindres à vapeur, le poids total est donc proportionnel au volume de ceux-ci, tandis que la puissance développée ne croît que comme la surface des pistons, dont la vitesse est sensiblement constante pour chaque type. On peut voir facilement que le poids de chaque type de machine, par l'unité de puissance développée est ainsi inversement proportionnel aux nombres de tours.

Malgré les modifications nombreuses introduites dans la construction des machines et des chaudières, le rapport entre la fraction de poids constante et celle variable avec la vitesse des machines, est resté sensiblement le même, et en prenant pour unité de poids celui à la vitesse d'un tour par seconde, le poids pour toutes les autres conditions de vitesse peut être exprimé par la formule

$$P = \frac{2}{3}p + \frac{\frac{1}{3}p}{n}$$

Les exemples nombreux pour tous les systèmes de machines inscrits sur les tableaux de MM. Normand et Mallet ont permis à ces derniers de déterminer la loi moyenne qui régit chacun d'eux. Les chiffres suivants indiquent les poids totaux par cheval indiqué, correspondant à chacune des grandes familles de machines marines, en y comprenant les espèces disparues.

Nombre de tours par minute.	15	20	30	[illegible]
Anciennes machines à balanciers, chaudières à galeries..	660k	550k	440k	[illegible]
Poids moyen de la masse des machines à action directe avec chaudières tubulaires....................	420	350	280	[illegible]
Mêmes machines, types de John Penn...............	300	250	200	[illegible]
Limites des machines les plus légères jusqu'à ce jour...	240	200	160	[illegible]

Ces chiffres montrent le chemin immense qui a été accompli depuis vingt-cinq ans dans la voie féconde de l'allégement de la machine marine. Entre les appareils des premiers paquebots Cunard et du transatlantique à hélice actuel, le poids par cheval indiqué a été réduit de 660 kilog. à 180 seulement.

Cette réduction des trois quarts du poids mort, autrefois traîné en pure perte, a été due aux trois branches de progrès :

1° Le remplacement de la chaudière à galerie par la chaudière tubulaire;

2° La machine à action directe remplaçant des arrangements compliqués;

3° L'accélération des machines par l'augmentation des vitesses des bâtiments et surtout par la substitution de l'hélice aux roues.

La suite de la communication est renvoyée à la prochaine séance.

MM. Barnès, Chaligny et Militon-Martin ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 6 Novembre 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 16 octobre est adopté.

M. le Président annonce que M. Néri, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de l'ordre de la Rose du Brésil.

M. G. Tardieu demande à répondre quelques mots aux observations formulées par M. Eug. Flachat dans la dernière séance sur la Note qu'il a présentée dans une séance précédente sur les signaux des chemins de fer anglais en général et sur ceux du système Saxby et Farmer en particulier.

M. Tardieu déclare qu'il n'a pas entendu contester le mérite des appareils de M. Vignier, qu'il les a cités à trois reprises dans sa note, et que l'erreur dans laquelle est tombé M. Flachat à cet égard, s'explique par la déclaration qu'il vient de faire, qu'il n'avait lu que le résumé. M. Tardieu ajoute qu'à sa connaissance les appareils Vignier étaient appliqués en France avant 1856, mais que d'un autre côté les appareils d'enclanchement décrits dans sa note étaient en 1862 répandus en Angleterre.

Répondant ensuite aux observations de M. Flachat, M. Tardieu dit en premier lieu que l'inconvénient signalé de la manœuvre des aiguilles à distance dans le système anglais n'est pas plus grand que celui de la manœuvre à distance des enclanchements dans le système Vignier. Il n'est pas toujours possible en effet de placer à proximité du poste des aiguilleurs les aiguilles qui doivent être enclanchées. Dans ce cas, il faut produire à distance leur enclanchement, ce qui se fait avec une transmission en fil de fer analogue à celle des signaux (cette disposition peut se voir à la gare Saint-Lazare).

M. Tardieu dit ensuite que, dans les systèmes qu'il a décrits, une aiguille ne peut être oubliée; car la position habituelle de tous les signaux indique l'arrêt, et on ne peut donner à un train le signal de passage que si toutes les aiguilles que ce train doit franchir sont convenablement disposées pour lui donner passage sans possibilité de rencontre avec d'autres trains. Si donc une aiguille est oubliée, il n'en résultera que l'arrêt d'un train.

Enfin, quant à la crainte de voir un aiguilleur manœuvrer rapidement plusieurs signaux pour dégager sa responsabilité et la faire tomber sur les agents des trains, ce danger n'existerait que si l'aiguilleur négligeait la prescription bien simple de tenir tous ses signaux habituellement à l'arrêt, ce qui n'est pas admissible.

M. Goschler a la parole pour donner communication de la Note de M. Saavedra, professeur à l'École des ponts et chaussées de Madrid, sur les applications en Espagne de la théorie des voûtes de M. Yvon Villarceau, notre éminent confrère.

M. Goschler regrette que l'ordre des travaux de la Société ne lui ait pas permis de faire connaître plus tôt à nos collègues le travail très-intéressant du savant profes-

seur espagnol, car le retard causé par l'ordre du jour a fait que deux autres publications, le compte rendu de l'Académie des sciences et le Bulletin de l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale, ont devancé le compte rendu de la Société des Ingénieurs civils. En tout cas, cette Note très-intéressante sera publiée dans la prochaine livraison des Mémoires, et, en attendant, ceux de nos confrères que la question intéresse pourront en prendre connaissance dans l'une des publications citées plus haut.

Après cette communication, M. Goschler croit devoir faire remarquer que la théorie de notre confrère n'est pas seulement appliquée en Espagne, comme il semblerait résulter de la note en question. Plusieurs ponts de la ligne de Paris-Mulhouse ont été construits suivant la théorie de M. Yvon Villarceau. Les ingénieurs ne sont pas tenus d'indiquer les méthodes qu'ils suivent; c'est à cela sans doute qu'il faut attribuer l'absence de documents sur les autres applications qui ont pu être faites en France d'une théorie connue depuis vingt ans.

M. Goschler appelle l'attention de la Société sur une méthode très-ingénieuse que M. Edouardo Saavedra a imaginée, pour prévenir les déformations qui peuvent survenir pendant l'exécution de la chape et de la surcharge. La forme des voûtes du système de M. Villarceau est étudiée pour réaliser l'équilibre mathématique, sous l'action de la surcharge complète : on ne peut donc pas compter généralement que la figure de la voûte se conservera pendant la construction de la chape et de la surcharge, tant que celle-ci ne sera pas entièrement achevée, à moins de laisser la voûte sur les cintres. Or, on sait à quels inconvénients la construction serait exposée, si l'on attendait, pour opérer le décintrement, l'entier achèvement des travaux. Voici comment M. Saavedra lève cette difficulté.

Par un calcul facile, il détermine un premier profil tangent à l'extrados de la voûte et qui limite la partie de la surcharge à construire pendant que la voûte est sur les cintres : ce profil satisfait à la condition que la distribution des pressions après le décintrement donne lieu à une courbe se confondant sensiblement avec celle correspondante à l'action de la surcharge entière; la seule différence que présente la voûte dans les deux états réside uniquement dans la différence des intensités des pressions. La surcharge, limitée comme il vient d'être dit, étant réalisée on peut procéder au décintrement : cette opération n'est suivie d'autre déformation de la voûte, que d'une légère inflexion dont on peut tenir compte à l'avance en préparant convenablement les gabarits des cintres.

Considérons actuellement les ordonnées verticales du premier profil ci-dessus, par rapport au plan horizontal qui doit limiter la surcharge totale, et partageons toutes ces ordonnées dans un même rapport, les points que l'on obtiendra ainsi appartiendront à une courbe qui jouit des mêmes propriétés que le premier profil. La conséquence est simple : on partage les ordonnées de ce profil en nombres égaux de parties, et les points correspondants de division fournissent autant de nouveaux profils d'équilibre que chaque ordonnée présente de points de division. Il ne s'agit plus dès lors que de faire exécuter la construction de la chape et du reste de la surcharge par zones comprises entre deux profils consécutifs.

M. Goschler estime que cette ingénieuse méthode mérite d'être recommandée à l'attention des ingénieurs.

MM. Normand et Mallet présentent la suite de leur Mémoire sur les conditions de travail et les utilisations des machines marines.

Les auteurs de la communication continuent leur étude des éléments de l'utilisa-

tion des poids, et doivent commencer par examiner les conditions qui gouvernent les poids des appareils évaporatoires avec leurs dépendances (eau, barreaux de grille, cheminées, etc.).

En dehors des conditions plus ou moins parfaites de construction, telles que les bonnes proportions et formes des diverses parties, l'emploi de matériaux de qualité supérieure permettant de moindres épaisseurs, le poids *par unité de puissance développée*, utilisation finale, est gouverné essentiellement par les conditions plus ou moins économiques de fonctionnement de la vapeur dans la machine.

Cette forme de résultats, d'un haut intérêt comme appréciation de l'ensemble de l'appareil moteur, ne peut donc conduire à la mesure exacte des résultats de travail des chaudières, et celle-ci doit être rapportée à la vaporisation effective.

MM. Normand et Mallet présentent un tableau résumant les diverses utilisations fournies par vingt-quatre appareils évaporatoires de divers systèmes (tableau n° 1).

La simple comparaison des poids rapportés à la puissance et à la vaporisation ne doit pas être seule envisagée dans l'appréciation des résultats qui se trouvent influencés par les deux conditions suivantes :

En premier lieu, et à l'inverse de ce qui se produit pour les machines proprement dites, les conditions de légèreté des chaudières se trouvent améliorées, pour les grandes puissances, par suite du meilleur emploi de la vapeur et par le tirage moins insuffisant avec les hauteurs de cheminées possibles seulement sur les grands bâtiments. On doit remarquer, en effet, qu'alors que les chaudières de terre ont des hauteurs de cheminées variant ordinairement entre 30 et 40 mètres, les chaudières marines des petits bâtiments ne peuvent disposer que d'une hauteur de cheminée de 10 à 12 mètres, qui atteint au maximum 16 à 20 mètres dans les plus grands navires.

En second lieu, la pression à laquelle la vapeur doit être produite influe aussi d'une manière notable sur le poids des appareils. Le mode de travail de la vapeur étant supposé identique, ou, autrement, l'utilisation de la chaudière étant mesurée par la vaporisation, la production d'une quantité donnée de vapeur aux pressions les plus différentes implique des étendues égales de surfaces de chauffe et, partant, des volumes identiques de foyers et de tubes. Le volume de l'eau ne peut être réduit que par l'emploi de condenseurs à surfaces, et la capacité totale ne sera diminuée en outre que de la quantité correspondante aux moindres volumes nécessaires pour les chambres de vapeur.

Le poids des chaudières, toutes choses égales d'ailleurs, se trouve donc accru en proportion directe des augmentations d'épaisseurs nécessitées pour les diverses parties et surtout des consolidations intérieures qui, dans la plupart des chaudières marines, absorbent une partie très-considérable du poids total.

Dans l'ensemble, les résultats des nombreux exemples présentés par MM. Normand et Mallet doivent se résumer ainsi :

Les anciennes chaudières à basse pression, à galeries, pèsent au total 250 kilog. par cheval indiqué et 20 kilogrammes par kilog. de vapeur fournie par heure.

Dans la masse des chaudières tubulaires types de la Marine impériale, ces mêmes valeurs ressortent encore en moyenne à 140 et à 13 kilogrammes respectivement.

Dans les appareils de la Marine anglaise, ces poids n'atteignent que 110 et 10 kilogrammes.

Dans les chaudières du *François Ier*, construites par M. B. Normand, les formes exclusivement cylindriques données aux enveloppes et aux foyers jointes à la substitution de l'acier à la tôle de fer ont abaissé à 7 kilogrammes le poids par kilogramme

Tableau n° 1. *Utilisations des poids des chaudières de divers systèmes.*

NOMS des BATIMENTS.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	SYSTÈME des CHAUDIÈRES.	PRESSION ABSOLUE de la vapeur.	DÉPENSE THÉORIQUE de vapeur dans les cylindres par cheval indiqué et par heure.	POIDS TOTAL DES CHAUDIÈRES.		PAR CHEVAL INDIQUÉ DE 75 KILOGRAMMÈTRES.			
					par mètre carré de surface de chauffe.	par kilogr. de vapeur utilisée par heure.	Surface de chauffe.	Poids des chaudières vides.	Poids de l'eau.	Poids TOTAL.
			atmosphères.	kg.	kg.	kg.	mètre carré.	kg.	kg.	kg.
Sphinx	Fawcett	Chaudières à galeries	1.50	12	470	23.8	0.610	177	109	286
Eldorado	Indret	Id.	1.50	12	528	20.5	0.466	124	122	246
Napoléon	Id.	Chaudières tubulaires	2	11		19.6		147	69	216
Jean-Bart	Id.	Id.	2.50	11		17.8		139	57	196
Vauban	Roentgen	Chaudières à galeries	1.50	12		14.9		95	84	179
Brooklyn	Murphy	Chaudière type Martin	2.75	12	199	13.8	0.834	93	73	166
Laplace	Creusot	Chaudières tubulaires	2.50	11		14.7		113	49	162
Algésiras	Dupuy de Lôme	Id.	2.50	11	275	15.2	0.582	111	49	160
Impératrice-Eugénie	Creusot	Id.	2.50	11		14.2		110	46	156
Souveraine	Mazeline	Id.	2.50	11		13.8		106	46	152
Charlemagne	Barnes	Id.	2	11		13.5		110	39	149
Isly	Cavé	Id.	2.50	11		13		98	45	143
La Plata	Napier	Id.	2.25	10		12.7		79	48	127
Diadème	Maudslay	Id.	2.50	11	230	10.5	0.506	74	42	116
Monge	Mazeline	Id.	2.50	11		10.4		69	46	115
Flying-Fish	Maudslay	Id.	2.50	11	189	10.3	0.598	75	38	113
Alexandre, Castiglione, etc.	Indret	Id.	2.50	11	200	10	0.556	65	45	110
Guard Ship	Seaward	Id.	2	11	160	9.8	0.670	60	48	108
Renown	Penn	Id.	2.50	11	220	9.7	0.484	67	40	107
Orlando	Id.	Id.	2.50	11	238	9.2	0.456	59	42	101
Ulster	Watt et Compagnie	Id.	8	11	246	9.2	0.410	58	48	101
Grille	Penn	Id.	2.50	11	210	8.6	0.450	55	40	95
Lima et Valparaiso	Randolph et Elder	Id.	8	6	341	15	0.265	49	41	90
François Ier	B. Normand	Id.	4	7	150	7	0.800	30	19	40

de vapeur produite. Enfin la combinaison de ces générateurs, avec la machine à fonctionnement économique que nous allons décrire, a réduit le poids par cheval indiqué au taux de 50 kilogrammes seulement, utilisation qui n'avait encore jamais été atteinte dans aucune chaudière marine.

M. Normand passe ensuite à l'examen des conditions qui gouvernent les poids de l'autre partie des appareils moteurs marins, c'est-à-dire la machine proprement dite et le propulseur.

La presque totalité de ces organes ont au moins une de leurs dimensions déterminée par l'intensité des efforts qu'ils doivent subir ou transmettre ; il en résulte que, pour chaque arrangement mécanique, chaque mode de fonctionnement, les poids devraient être sensiblement proportionnels à la quantité de travail développée dans une révolution de la machine.

Le rendement final de puissance rapporté au *temps* étant proportionnel à la rapidité de la rotation, laquelle est gouvernée par des éléments dépendants du navire, l'appréciation exacte des conditions de légèreté, possédées par chaque arrangement mécanique, peut être fournie par une expression que MM. Normand et Mallet croient être les premiers à employer dans ces investigations, et qui consiste à ramener les poids actuels au taux correspondant à une vitesse uniforme, les poids étant inversement proportionnels à la puissance $\frac{2}{3}$ des nombres de tours.

MM. Normand et Mallet présentent les deux tableaux ci-joints des utilisations des poids des machines à roues et des machines à hélice.

Dans les premières, le poids par kilogrammètre de travail développé à l'indicateur par révolution était de $1^k.50$ pour les anciennes machines à balancier. Il ressort en moyenne entre $1^k.00$ et $0^k.80$ pour la masse des machines à action directe modernes, et pour les plus légères, types de Penn, il s'abaisse jusqu'à 0.60.

Le poids par cheval de force, à l'indicateur, présente de plus grandes variations, par suite de l'introduction d'un autre élément d'inégalités, les variations dans l'allure des machines. Le cheval de 75 kilogrammètres qui, dans les premières machines à balancier, s'élevait souvent au taux de 350 à 400 kilogrammes, ne pèse plus dans les machines modernes les plus parfaites que 150 kilog. pour les plus grandes, et pour celles de moyenne et de petite dimension 100 kilog. et même jusqu'à 70 kilog.

Les machines à hélice appartenant à une période plus récente, où les connaissances relatives au bon emploi des matériaux sont beaucoup plus répandues, on devrait s'attendre à rencontrer des valeurs moins différentes dans l'utilisation des poids ; ces appareils, même ceux appartenant aux mêmes arrangements généraux, présentent cependant des inégalités d'utilisation aussi considérables que les machines à roues.

Ces écarts proviennent principalement de méprises et d'erreurs de construction que M. Normand signalait l'année dernière, et sur lesquelles les auteurs du présent Mémoire sollicitent instamment l'attention des Ingénieurs civils, dans l'espoir de préparer à notre Marine une situation moins désavantageuse, surtout dans un temps où chaque tonne épargnée sur le moteur peut être une si précieuse addition à l'offensive et surtout à la défensive du vaisseau.

Dans le tableau présenté des poids des machines à hélice, on voit que les types de la Marine impériale ressortent en moyenne entre $1^k.60$ et $1^k.20$ par kilogrammètre par tour, tandis que les machines de Maudslay et de Penn ne s'élèvent qu'à $0^k.80$ et même $0^k.70$.

TABLEAU N° 2. *Utilisations des poids des organes mécaniques dans les divers types de machines.*

(Machines, propulseur et dépendances, l'appareil évaporatoire seul retranché.)

MACHINES A ROUES.

NOMS DES BATIMENTS.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	SYSTÈME DES MACHINES.	PUISSANCES		NOMBRE de tours par minute. N (1)	POIDS par kilogrammètre et par tour.	Poids des machines et du propulseur par cheval indiqué.	
			NOMINALE.	INDIQUÉE.			Actuel. P	30 tours. $p = P \times n^{2/3}$
			chevaux.	chevaux.	tours.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Descartes	Roentgen	Balanciers, bâtis en fonte	540	1200	16	1.48	420	276
Eldorado	Indret	Balanciers, bâtis en fonte	450	900	16.6	1.48	400	270
Sphynx	Fawcett	Balanciers, bâtis en fonte	160	320	21.86	1.48	325	263
Cassini	Creusot	Balanciers, bâtis en fonte	220	440	19.15	1.49	352	261
Gomer	Fawcett	Balanciers, bâtis en fonte	450	900	15.35	1.32	383	246
Véloce	Fawcett	Balanciers, bâtis en fonte	220	440	18	1.36	341	242
Vauban	Roentgen	Directe inclinée	540	1313	16.33	1.28	354	236
Infernal	Indret	4 cylindres	450	837	16.5	1.25	340	228
Cuvier	Miller	Directe droite	320	618	21	1.20	257	202
Lima	Randolph et Elder.	Directe, 4 cylindres inclinés.	320	1160	24	1.22	228	196
Lafayette Washington.	Forquenot	Balanciers	900	3000	17	0.94	250	171
Goëland	Gâche	Directe droite	200	482	28.5	1.05	167	161
Prony	Indret	Double traverse	320	853	19	0.91	215	158
Anacréon	Indret	Double traverse	100	254	30.5	1.01	150	152
La Plata	Napier	Balanciers	876	2865	17	0.76	202	138
Bisson	Lorient	Oscillante droite	120	312	29.8	0.85	128	128
Mogador	Creusot	Oscillante droite	650	1695	18.6	0.68	165	120
Berthollet	Creusot	Directe droite	400	1046	21.7	0.70	145	117
Daim	Gâche	Directe droite	120	367	33	0.74	101	108
Furet	Penn	Oscillante droite	24	80	52	0.87	75	108
Éclaireur	Indret	Oscillante droite	200	646	23	0.72	128	107
Duguay-Trouin	B. Normand	Système Normand	40	140	35	0.66	86	95
Orne	Penn	Oscillante droite	80	320	46	0.70	69	92
Ulster	Watt et Cie	Oscillante droite	750	4100	25	0.55	97.5	87
François Ier	B. Normand	Système Normand	100	550	52	0.60	54	78

(1) $n = \frac{N}{30}$.

TABLEAU N° 3. *Utilisations des poids des organes mécaniques dans les divers types de machines.*

(Machines, propulseur et dépendances, l'appareil évaporatoire seul retranché.)

MACHINES A HÉLICE.

NOMS DES BATIMENTS.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	SYSTÈME DES MACHINES.	PUISSANCES		NOMBRE de tours par minute. N (1)	POIDS par kilogrammètre et par tour.	Poids des machines et du propulseur par cheval indiqué,	
			NOMINALE.	INDIQUÉE.			Actuel. P	Pour 60 tours. $p = P \times n^{2/3}$
			chevaux.	chevaux.	tours.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Somme	Indret	Verticale, fourreau renversé.	100	192	65.7	2.01	138	146
Isly	Cavé	Directe horizontale, 4 cylindres	650	1530	52 2	1.79	154	140
Napoléon	Indret	Horizontale, à engrenages	900	1798	22.6	1.33	264	138
Pomone	Mazeline	Bielle en retour	220	574	42	1.48	168	132
Mayenne	Indret	Horizontale, à fourreau	120	346	71.3	1.83	115	129
Bougainville	Indret	Horizontale, à fourreau	120	430	72.7	1.80	111	126
Jean-Bart	Indret	Directe horizontale, 4 cylindres	450	1010	46.1	1.54	150	126
Souveraine	Mazeline	Bielle en retour, 4 cylindres.	800	2228	48.4	1.56	144	125
Bretagne	Indret	Directe horizontale, 4 cylindres	1200	3327	45.4	1.43	142	118
Revanche, etc.	(2) Divers	Bielle en retour, 3 cylindres.	950	3326	54	1.50	125	116
Rhône	Creusot	Bielle en retour	250	799	63	1.45	110	114
Algésiras	Dupuy de Lôme	Bielle en retour	900	2057	45.4	1.33	131	109
Phlégéthon	Indret	Horizontale, à engrenages	400	972	31.3	1.18	165	107
Colombo	Napier	Balancier supérieur, engrenag.	450	1528	26	1.04	180	103
Souverain	Forges et chantiers	Bielle en retour	600	1576	52	1.28	111	101
Danawerth	Mazeline	Bielle en retour	450	1175	48.4	1.26	117	101
Monge	Mazeline	Bielle en retour	250	815	76	1.33	76	89
Impérat.-Eugénie	Creusot	Bielle en retour	800	1950	46.4	1.08	104	88
Laplace	Creusot	Directe horizontale, 4 cylindres	400	975	48.5	0.98	92	80
Charlemagne	Barnes	Directe horizontale, 4 cylindres	450	1206	52.3	1.00	86	79
Diadem	Maudslay	Bielle en retour	800	2685	55.3	0.70	64	60
Renown	Penn	Horizontale, à fourreau	800	2754	54.5	0.75	62	58
Grille	Penn	Horizontale, à fourreau	160	800	135	0.90	30	52
Orlando	Penn	Horizontale, à fourreau	1000	3992	53	0.62	52	48

(1) $n = \frac{N}{60}$.

(2) Ces chiffres se rapportent à la moyenne des résultats des machines des frégates *la Revanche*, *la Gauloise*, *la Magnanime*, *la Savoie* et *la Valeureuse*.

Pour le poids par cheval indiqué, presque tous les types de la Marine impériale sont compris entre 150 et 110 kilog. Les constructeurs anglais que nous venons de citer ne dépassent pas, pour les plus grands appareils 70 et même parfois 60 kilog. Sur le yacht LE GRILLE (machine de petite dimension à grande vitesse) John Penn a réduit ce poids au taux incroyable de 30 kilog.

M. NORMAND fait observer que la question de l'utilisation des poids des chaudières et des machines ne peut être élucidée complétement que lorsque les conditions du bon emploi de la vapeur dans la machine ont été établies. Il lui faut donc aborder maintenant l'étude de la deuxième question : l'*Utilisation du combustible*.

Avant d'examiner les résultats d'économie de fonctionnement que réalisent en pratique les divers systèmes de machines marines, il est d'un grand intérêt de se référer aux données théoriques de la question.

Cette recherche est d'autant plus opportune que, par suite des acquisitions relativement récentes de la science, les lois autrefois admises de l'expansion dans les machines à vapeur sont reconnues erronées, et que les tables de la détente encore aujourd'hui en usage doivent être réformées sous peine d'induire dans les plus graves erreurs.

MM. Normand et Mallet présentent une nouvelle Table de la détente qu'ils ont construite, en tenant compte des trois ordres de corrections suivantes :

1° Pour les abaissements de température aux degrés correspondant aux pressions successives ;

2° Pour la portion de vapeur condensée, complétant, avec l'abaissement de la température, la perte de chaleur correspondant au travail moteur successivement fourni ;

3° Pour la pression résistante au condenseur.

Pour le calcul de la chaleur disparue par le travail développé, MM. Mallet et Normand ont compté que chaque calorie correspondait à 400 kilogrammètres.

La pression résistante au condenseur varie généralement entre 3 et 6 p. 100 de la pression à la chaudière. La table a été calculée pour une pression égale à 4 p. 100, soit 1/25 de la pression initiale.

Par l'expression UTILISATION DES ORGANES, les auteurs du mémoire expriment le rapport existant entre l'effort moyen pour toute la course du piston et l'effort maximum sous la pression initiale.

Enfin, toutes les tables de la détente étant rapportées à l'*admission à pleine course*, qui doit être regardée comme une exception, sinon une véritable monstruosité, MM. Normand et Mallet ont pensé que toutes les données de la détente devaient plutôt être rapportées au fonctionnement de la majorité des machines marines, avec admission aux 2/3 qui, jusqu'à ces dernières années, a sensiblement constitué leur fonctionnement normal.

TABLEAU N° 4. — Table du travail de la vapeur pour divers degrés de détente.

Valeurs corrigées : 1° pour les abaissements de température ; 2° pour les condensations résultant du travail ; 3° pour la pression résistante.

Cette table a été calculée :

1° pour une contre-pression au condenseur égal à $0.04 = \frac{1}{25}$ de la pression initiale ;

2° Pour une pression initiale de 5 atmosphères. — Les valeurs doivent être un

peu diminuées pour les pressions supérieures, et un peu augmentées pour les pressions moindres.

PROPORTIONS DE DÉTENTE.		VALEURS ABSOLUES.		VALEURS RAPPORTÉES AU FONCTIONNEMENT DES ANCIENNES MACHINES MARINES A DÉTENTE A 1 1/2. (ADMISSION DE 0.666.)			
Volume final par rapport à l'admission.	Admission par rapport au volume final.	Travail développé. Travail avant détente sans pression résistante = 1.00	Utilisation des organes. Pression moyenne.	Travail développé.	Consommations proportionnelles.	Utilisation des organes.	Augmentations totalisées de la pression et du volume des cylindres.
1.00	1.000	0.960	1.000				
1.50	0.666	1.326	0.921	1.000	1.000	1.000	1.000
2.00	0.500	1.566	0.815	1.180	0.848	0.885	1.130
2.50	0.400	1.741	0.725	1.312	0.762	0.787	1.270
3.00	0.333	1.876	0.652	1.414	0 707	0.708	1.414
3.50	0.286	1.983	0.591	1.495	0.669	0.642	1.560
4.00	0.250	2.071	0.540	1.562	0.640	0.586	1.706
4.50	0.222	2.144	0.497	1.618	0.618	0.540	1.854
5.00	0.200	2.206	0.460	1.664	0.600	0.500	2.004
6.00	0.166	2.304	0.400	1.740	0.575	0.435	2.300
7.00	0.143	2.378	0.354	1.792	0.558	0.384	2.604
8.00	0.125	2.435	0.318	1.835	0.545	0.345	2.904
9.00	0.111	2.479	0.286	1.868	0.535	0.310	3.210
10.00	0.100	2.513	0.262	1.894	0.528	0.285	3.520

Malgré les différences nombreuses et capitales d'arrangement, de formes et de proportions que présentent cette masse énorme de machines qui ont été construites pendant le premier demi-siècle du règne de la vapeur sur la mer, on peut établir que (à l'exception d'un petit nombre de tentatives infructueuses), tous ces appareils, d'aspects si différents, étaient cependant identiques, quant au mode d'utilisation de la vapeur, c'est-à-dire quant au maximum d'effet utile qui en pouvait être obtenu; les différences parfois considérables qui apparaissent dans la pratique étaient *en déficit*, et n'indiquaient rien autre chose que des erreurs d'exécution.

Ces conditions classiques de fonctionnement de la vapeur doivent être définies ainsi :

1° Admission de la vapeur aux 2/3 de la course du piston, soit une détente à 1 1/2 fois le volume primitif;

2° Pression absolue à la chaudière égale à 20 fois la pression résistante au condenseur;

3° Utilisation des organes mécaniques égale à 0.92.

Malgré les augmentations notables dans la tension de la vapeur, qui, depuis vingt ans, a été progressivement élevée de 1 1/2 à 2 1/2, et même 3 atmosphères absolues, les conditions d'utilisation du combustible qui viennent d'être résumées n'avaient pas été améliorées; car, d'une part, les tentatives vers une détente plus étendue n'avaient conduit qu'à des déceptions (les conditions indispensables à la réalisation des avantages de la détente n'ayant pas été observées), et, d'autre part, le bénéfice d'une augmentation de pression étant compensé par les moins bonnes conditions de *distribution* et de *condensation* de la vapeur. Ces infériorités existaient surtout dans les

machines à grande vitesse, ou à fonctionnement *intensif;* mais elles peuvent être complétement écartées aujourd'hui.

La machine marine normale produisait ainsi *un cheval indiqué,* avec une dépense théorique de *douze kilogrammes de vapeur*, ce qui se traduisait en pratique, suivant la grandeur et la perfection relative des appareils, par une consommation de *un trois quarts à deux et demi* kilogrammes de charbon.

A l'encontre de cette situation, qui paralysait si gravement l'essor de la navigation à vapeur, en ne lui permettant les longs parcours et la grande vitesse que dans des conditions ruineuses, on opposait les indications d'une théorie erronée, qui montrait dans la détente seule une source presque illimitée d'améliorations.

On trouvait de plus solides arguments, contre la continuation des premiers errements de la machine marine, dans les moteurs à fonctionnement économique employés si largement dans l'industrie, notamment les machines d'épuisement de Cornouailles et les machines de Woolf. Dans ces deux types, la consommation incontestablement acquise ne dépassait guère la *moitié* de celle des bonnes machines marines de l'époque. Mais ces types de comparaison étaient lourds, encombrants et compliqués; la pression de la vapeur y était beaucoup plus élevée que celle qu'il paraissait possible d'employer jamais sur mer; enfin les conditions de la double détente de Woolf semblaient irréalisables avec les arrangements imposés à la machine marine. La conclusion étrange à laquelle les meilleurs esprits étaient fatalement conduits était donc que, pour constituer le moteur *léger* et *compacte* qui seul peut être appliqué au navire, l'unique moyen était de gaspiller le combustible, la vapeur, les chaudières et tout ce qui en dépend directement, enfin de traîner une tonne de charbon l'espace de mille lieues, pour n'en retirer que l'effet utile d'une demi-tonne !

Les faits ont aujourd'hui prouvé que la machine à fonctionnement économique non-seulement peut être établie dans les conditions de poids des machines à grande dépense, mais encore qu'un fonctionnement plus parfait de la vapeur peut être la source d'un nouveau progrès dans l'utilisation des poids.

M. Normand passe à l'examen de ces diverses améliorations, dont l'ensemble va constituer la troisième ère de la navigation à vapeur, la deuxième étant celle dont nous avons été redevables aux efforts de Sauvage, de Smith et d'Éricsson.

Rowan et Horton ont, vers 1856, construit des machines marines de Woolf. Avec des condenseurs à surfaces, ils tentèrent l'emploi de pressions élevées, 8 à 9 atmosphères. Malgré une proportion de détente considérable, cette machine, appliquée à l'hélice, avait des dimensions modérées.

Des inconvénients pratiques, provenant principalement de la grande tension de la vapeur, ont restreint l'application de ces machines; mais on ne saurait méconnaître qu'elles ont grandement contribué à l'élaboration de la question, en prouvant par des faits la possibilité d'abaisser à un kilogramme par cheval indiqué la consommation d'une machine marine de moyenne dimension.

Mieux inspirés, Randolph et Elder ont cherché l'accroissement de la détente sans augmentation, dans la tension, de la vapeur aux chaudières, mais par un agrandissement considérable du volume des cylindres. Ils ont donné à ceux-ci des proportions qui, avant eux, auraient été regardées comme devant entraîner à des augmentations inadmissibles dans le poids de l'appareil et les dépenses de construction. On leur doit cet immense service d'avoir démontré que des conditions excellentes d'expansion de la vapeur pouvaient être réalisées avec une pression initiale, ne dépassant pas *trois* atmosphères et même *deux et demi.*

En 1861, Humphrys entra résolûment dans cette voie, introduisant de nouveaux arrangements d'organes, les machines à pilon à grand et petit cylindre superposés, et il construisit avec succès une série nombreuse de machines de 300 à 500 chevaux de force nominale pour la Compagnie péninsulaire et orientale.

Sous le stimulant de cette concurrence ardente des nouvelles machines, tous les constructeurs de l'Angleterre redoublèrent de soins et d'efforts, les uns conservant le principe du travail de la vapeur dans un seul cylindre, mais tous réalisant par une plus grande détente, par la condensation par surfaces, par des enveloppes de vapeur ou la surchauffe, des progrès qui ont rendu complétement impossible la reproduction des anciens types de la machine marine.

M. Normand se croit en droit de revendiquer pour lui-même d'avoir représenté l'Industrie française dans cette grande lutte pour le progrès maritime; des faits considérables prouvent aujourd'hui que les dispositions qu'il a, le premier, élaborées et fait réussir, renferment la plus large solution du problème de la machine marine économique.

Ses tentatives remontent à 1854.

L'idée principale du système Normand consiste dans la division de la détente entre deux cylindres *complétement indépendants dans leurs mouvements de distribution*, pouvant ainsi être conjugués par des manivelles *à angle droit*, forme essentielle de la machine marine. Ces cylindres ne communiquent que par un réservoir intermédiaire de vapeur. L'échappement du premier cylindre ne passe au deuxième qu'après avoir été purgé des condensations résultant de la première partie de travail fourni, et reçu une certaine addition de chaleur.

L'expérience a démontré que ce *passage à niveau* et le stationnement de la vapeur dans une capacité intermédiaire n'altèrent en rien ses conditions d'utilisation qui sont plutôt améliorées comparativement aux machines à mouvement parallèle des pistons.

Ce système est d'ailleurs essentiellement simple, puisqu'il constitue, *sans augmentation dans le nombre d'organes*, la machine marine avec les avantages de la *double détente*. Il ne nécessite pas des arrangements spéciaux et peut assumer toutes les formes ordinaires, à tel point qu'il peut être appliqué par voie de modification à toutes machines existantes. Il a pu se prêter à des conditions où aucun des autres types économiques n'eût été réalisable, c'est-à-dire pour les *petits bâtiments à très-grande vitesse*. Au point de vue de l'utilisation des organes, il possède une supériorité considérable; pour le même degré de détente totale, aucun autre système ne comporte une aussi grande régularité et, par suite, une telle modération d'efforts.

Les avantages du système Normand à ce point de vue, l'utilisation des organes mécaniques, s'établissent comme suit :

DÉTENTE TOTALE.	MACHINES A 1 CYLINDRE.		MACHINES NORMAND.	
	ADMISSION.	UTILISATION des organes.	ADMISSION moyenne des 2 cylindres.	UTILISATION des organes.
A 4 volumes.	0.25	0.54	0.65	0.92
A 5 volumes	0.20	0.46	0.60	0.88
A 6 2/3 vol..	0.15	0.38	0.50	0.82
A 10 volumes.	0.10	0.26	0.40	0.54

Les machines de Woolf, c'est-à-dire sans réservoir intermédiaire et à mouvement simultané des pistons, ont sans doute un certain avantage du même genre; mais il est très-inférieur à celui réalisé dans les machines Normand, où, pour les détentes de 5 volumes et au-dessus, la somme de puissance motrice, qui peut être transmise par *un même mécanisme*, est réellement double de ce qu'elle serait avec la même détente totale dans un seul cylindre.

La première application du nouveau système de fonctionnement a été faite à la fin de 1860 sur le paquebot *le Furet*, dont la machine avait été primitivement construite par Penn.

Une commission, nommée par M. l'amiral Hamelin, ministre de la marine, et composée de MM. Pironneau, directeur des constructions navales, Mangin, ingénieur de la marine, et baron Roussin, capitaine de vaisseau, apprécia en ces termes les avantages de la nouvelle machine :

« Pour pouvoir comparer la machine du *Furet* à nos *machines marines* actuelles, il vaut bien mieux considérer le rapport de la vapeur dépensée à la quantité de travail produite. Or, sur le *Furet*, ce rapport est très-faible ; par heure, chaque cheval indiqué n'a exigé qu'une dépense de.......................... 6 k. [illegible]

« Sur le *Phlégéton*, ce rapport a été de.......................... 10 [illegible]

« Sur l'*Algésiras*, — .... 11 [illegible]

« Sur le *Croiseur*, — .... 11 [illegible]

« Sur le *Fleurus*, — .... 11 [illegible]

« En résumé, la Commission reconnaît qu'il y a des *avantages économiques très considérables* à retirer de l'emploi de dispositions *analogues* à celles adoptées par M. B. Normand. »

Les conséquences de cette haute approbation apparurent aussitôt, mais sous une forme inattendue et toute particulière.

Sans même daigner répondre aux propositions de l'inventeur, la Marine impériale fit exécuter, avec la plus grande rapidité, une machine du système nouveau, c'est-à-dire *à double détente, à mouvement non simultané des pistons à réservoir intermédiaire, avec séchage et réchauffage de la vapeur*. Cette machine fut montée sur le transport *le Loiret*.

Les résultats de cette application furent assez favorables pour que la Marine impériale ait adopté le nouveau mode de fonctionnement comme type presque exclusif des nouvelles machines à construire.

Parmi les appareils construits suivant le nouveau système sont les machines de 950 chevaux nominaux des frégates *la Savoie*, *la Valeureuse*, *la Magnanime*, *l'Océan* et *le Friedland*; les machines de 450 chevaux nominaux des corvettes *le Jérôme-Napoléon*, *l'Atalante*, *le Château-Renaud* et *l'Infernet;* les machines de même puissance du transport *le Cher*, etc.

De son côté, M. Normand a appliqué son système à *cinquante* machines marines et autres de diverses puissances, et les résultats du nouveau fonctionnement, employé par son auteur, contrastent favorablement avec ceux très-incomplets obtenus sur les machines de la Marine impériale, où le rendement de puissance n'a pas dépassé en moyenne 260 kilogrammètres, 3 1/2 fois la force nominale, et où, malgré la grandeur des appareils, la consommation n'a été abaissée qu'à 1 k. 44. Le nouveau système ne saurait être rendu responsable de ces infériorités que l'examen des conditions où elles se sont produites expliquera suffisamment.

Dans le travail présenté à la Société, dans la séance du 15 novembre 1867, M. Normand

mand établissait, d'après des comparaisons nombreuses, que, pour des machines marchant à 2 1/2 atmosphères absolues et à l'admission normale aux 2/3 de la course, le volume décrit par minute par les pistons de détente ne pouvait pas être moindre de $0^{m3}.300$ par chaque cheval *indiqué* à fournir. Ce volume correspond en effet à $1^{k}.50$ de pression moyenne à l'indicateur. Or les nouvelles machines de la marine impériale devant fonctionner à la détente à 2 1/2 volumes, et l'augmentation correspondante à cette détente ayant été démontrée devoir être au moins de 27 p. 100, le volume total, pour 4 chevaux indiqués, devient

$$0.300 \times 1.27 \times 4 = 1^{m3}.52.$$

Si l'on tient compte de la pression portée de 2 1/2 à 2 3/4 atmosphères, ce volume doit encore être de $1^{m3}.38$.

Or il est en réalité :

Pour les machines de 950, de	$1^{m3}.40$
Pour celles de 450 de	1 25

En d'autres termes, M. Dupuy de Lôme a eu la prétention de faire des machines à plus grande puissance effective et à plus grande détente, sans augmentation dans le volume décrit par les pistons, et en restant dans ces conditions exiguës de dimension que depuis vingt ans les constructeurs anglais avaient abandonnées, même pour les machines à fonctionnement ordinaire.

Les 500 chevaux indiqués qui ont été le déficit moyen des machines des frégates cuirassées montrent combien étaient erronées les conditions dans lesquelles elles avaient été établies.

Au point de vue de l'économie de combustible, les résultats ont été plus favorables; mais, pour des appareils de 950 chevaux, une consommation de $1^{k}.44$, moyenne des trois frégates essayées jusqu'à ce jour, peut-elle être regardée comme un grand succès, alors que des machines de divers systèmes, incomparablement moindres en dimensions, ont réalisé des consommations plus faibles d'*un quart*?

Les tableaux graphiques, joints au mémoire de MM. Normand et Mallet, font apparaître, d'une manière saisissante, les résultats divers de consommation du grand nombre de machines citées de tous les systèmes. Les limites du compte rendu ne permettent pas d'entrer dans les détails de cette grande question, qui sera complétement développée dans le bulletin trimestriel.

Nous nous bornerons à rapporter les observations suivantes, dans lesquelles se résument les conditions économiques des divers types de machines en usage aujourd'hui.

Au point de vue de la valeur de la détente, et par suite de l'importance de l'utilisation maxima de combustible que l'*on peut être en mesure de réaliser*, les chiffres suivants expriment les proportions usitées par les divers constructeurs.

	Volume total comparé à l'admission.	Utilisations proportionnelles.
Machines marines anciennes	1 1/2	1.00
Dupuy de Lôme	2 1/2	1.30
Normand	4 1/2	1.60
Humphrys	6	1.74
Rowan et Horton	8	1.84
Randolph et Elder	10	1.90

MM. Normand et Mallet pensent que, pour chaque ordre de *parcours*, il y a un taux de détente, et par suite d'économie de combustible, qui doit être préféré comme procurant la plus grande somme de *légèreté combinée* de l'appareil moteur et du combustible.

Cette proportion serait à peu près comme suit :

		Taux de la détente.
Parcours de	1 jour	à 4 ou 5 volumes.
—	de 5 jours	à 5 ou 6 —
—	de 10 jours	à 6 ou 7 —
—	de 15 jours	à 7 ou 8 —
—	de 20 jours	à 8 ou 10 —

Le taux de détente à 4 ou 5 volumes a été démontré, dans les machines Normand, compatible avec le plus haut degré de légèreté de l'appareil moteur, même sans combustible.

Il est donc difficile de comprendre comment M. Dupuy de Lôme, en assumant les charges et les complexités de la transformation, a cru utile de se renfermer dans une exiguïté d'expansion qui annihile les avantages du nouveau fonctionnement, à tel point que M. l'amiral Labrousse, dans un ouvrage, resté sans réponse, n'a pas craint d'affirmer que même au point de vue de l'économie de combustible, la nouvelle machine construite par M. Dupuy de Lôme n'avait aucune supériorité sur les machines à simple action.

Dans la situation pénible faite à M. Normand, qui non-seulement n'a pas reçu le moindre encouragement de la Marine impériale, mais qui, de plus, voit son œuvre mutilée par des imitations défectueuses, émanant de concurrents redoutables, il éprouve une légitime satisfaction à présenter les résultats de fonctionnement d'une machine construite par lui, il y a trois ans, et établie sur le paquebot *le François Ier*, affecté au transport des passagers entre le Havre et Trouville, ou Honfleur.

Les dimensions du bâtiment sont :

Longueur à la flottaison	46m.00
Largeur à la flottaison	5 .82
Profondeur de carène	1 .60
Surface immergée du maître-couple	8mq.12
Déplacement	220 .00
Puissance nominale de la machine	100 chevaux

Propulseur, roues à aubes mobiles :

Diamètre au centre de suspension des aubes	3m.60
Longueur des aubes	2 .00
Largeur	0 .88
Immersion du bord inférieur	1 .00

Chaudières timbrées à 4 atmosphères :

Surface de chauffe	160m².00
Course des pistons	1m .00

Nombre de tours par minute maximum............	52
Vitesse des pistons par seconde..................	1m .733
Diamètre du premier cylindre......................	0 .800
Diamètre du grand cylindre	1 .280
Pression moyenne à l'indicateur sur le petit piston..	2kg.420
Pression moyenne à l'indicateur sur le grand piston.	0 .915
Puissance développée totale..........................	550 chevaux
Consommation par cheval indiqué..................	1kg.10
Rapport de la vitesse du bâtiment à celle du propulseur..	0 .71
Vitesse du bâtiment en milles marins.............	14milles.
— en kilomètres...............	26k.00

Le poids de l'appareil moteur se compose ainsi :

Machine..	24 000kgs
Roues..	6 000
Deux corps de chaudières..............................	9 800
Grilles, cheminées, accessoires, tuyautage..........	5 700
Eau sous les chaudières................................	11 000
	56 500

En terminant, M. Normand ajoute que le système de machine qu'il a inauguré vient d'être adopté par la Compagnie générale Transatlantique pour les paquebots de 450 chevaux à construire pour sa nouvelle ligne du Pacifique.

M. Deprez fait observer que, dans sa communication, M. Normand a parlé de la loi suivant laquelle décroît la pression de la vapeur quand elle se détend sans recevoir de chaleur de l'intérieur. M. Deprez croit qu'il ne serait pas dépourvu d'intérêt de faire connaître à la Société les résultats de quelques calculs relatifs au travail de 1 kilogramme de vapeur dans des machines à haute pression sans condensation, et où la détente de la vapeur est poussée jusqu'à ce que sa tension devienne égale à 1 atmosphère. Voici un tableau qui résume les résultats auxquels M. Deprez est arrivé :

Pression initiale de la vapeur (absolue)........................	8 atmosphères.	10 atmosphères.	12 atmosphères.
Pression finale.................	1 atmosphère.	1 atmosphère.	1 atmosphère.
Température initiale............	170°.81.	180°.31	188°.41
Température finale..............	100°	100°	100°
Volume initial de 1 kil. de vapeur.	0m.2338	0m.1899	0m.1602
Volume final......................	1m.4557	1m.4407	1m.4233
Rapport des volumes	6.266	7.58	8.884
Poids de vapeur qui se condense pendant la détente..........	0k.1156	0k.1247	0k.1353
Travail moteur pendant l'admission	19 327 $k \times m$	19 622 $k \times m$	19 864 $k \times m$
Travail moteur pendant la détente.	31 241 $k \times m$	34 114 $k \times m$	37 168 $k \times m$
Travail résistant pendant l'échappement........................	15 042 $k \times m$	14 887 $k \times m$	14 707 $k \times m$
Travail utile disponible	35 529 $k \times m$	38 849 $k \times m$	42 325 $k \times m$
Équivalent calorifique de ce travail.	837.94 calories.	91.625 calories.	99.823 calories.
Chaleur communiquée à l'eau par la chaudière (1)...............	5580.97 calories.	560.994 calories.	563.465 calories.
Rapport de la chaleur utilisée à la chaleur dépensée..............	0.1501	0.1633	0.1771
Maximum théorique de ce rapport.	0.1595	0.1771	0.1916
Travail utile disponible d'après la loi de Mariotte	39 620 $k \times m$	44 499 $k \times m$	48 546 $k \times m$

1. Je suppose la chaudière alimentée d'eau à 100°.

Tous ces résultats ont été calculés d'après les méthodes exposées dans l'ouvrage de M. Combes sur la théorie mécanique de la chaleur. Ces méthodes ne reposent sur aucune hypothèse. Elles sont déduites des équations fondamentales de la thermodynamique, combinées avec les formules empiriques de M. Regnault.

M. Deprez a supposé, d'ailleurs, qu'il s'agissait d'une machine idéale, n'ayant pas d'espaces nuisibles, ne subissant aucune perte de chaleur par conductibilité ou par rayonnement. Le tableau fait ressortir l'avantage qu'il y a à employer la vapeur à la tension la plus élevée possible. En effet, le rapport de la chaleur utilisée à la chaleur dépensée est de 0.150 quand la vapeur a une tension de 8 atmosphères, et est de 0.177 quand la tension est de 12 atmosphères ; l'accroissement d'effet utile serait donc de $\frac{0.177 - 0.150}{0.150} = 18$ p. 100, si l'on employait la vapeur à 12 atmosphères au lieu de l'employer à 8. En d'autres termes, si, dans une machine marchant à 8 atmosphères, on brûlait 100 kilogrammes de charbon pour effectuer un certain travail, on n'en emploierait plus que $100 \times \frac{0.150}{0.177} = 84^{k}.7$, si on la faisait marcher à 12 atmosphères avec détente jusqu'à la pression atmosphérique.

Cet avantage d'une pression élevée et d'une grande détente serait bien plus considérable encore si la pression résistante, au lieu d'être de 1 atmosphère, était aussi basse qu'elle l'est dans les machines marines. L'équation qui donne la quantité de vapeur qui passe à l'état liquide, pendant la détente, conduit à une conséquence singulière quand on l'applique à la vapeur d'éther. Elle montre que si, au commencement de la détente, la vapeur d'éther était mélangée à une petite quantité d'éther liquide, à la fin de la détente, une certaine portion de ce liquide serait passée à l'état de vapeur, contrairement à ce qui arrive pour la vapeur d'eau. On en conclut que la vapeur d'éther sèche à l'origine de la détente doit être surchauffée à la fin de la détente. C'est ce que M. Hirn a effectivement vérifié.

M. Deprez n'insiste pas davantage sur les conséquences que l'on peut tirer des équations de la thermodynamique quand on les applique aux machines à vapeur, ayant l'intention de les développer dans une note spéciale.

Séance du 20 Novembre 1868.

Présidence de M. Vuillemin, *Vice-Président.*

Le procès-verbal de la séance du 6 novembre est adopté.

M. le Président donne communication d'une lettre de M. Ball, qui s'excuse de ne pas pouvoir assister à la séance.

La discussion sur les compteurs à gaz est par suite remise à la séance suivante.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. de Landsée, pour la lecture de sa communication sur une locomotive à rail central.

M. DE LANDSÉE fait d'abord remarquer que l'expérience de la traversée du mont Cenis a été favorable à l'emploi du rail central.

L'emploi de locomotives dites à rail central a permis de franchir des rampes inusitées précédemment. En effet, ces machines émettent, en vertu de leur adhérence supplémentaire, obtenue par le moyen d'une pression facultative d'un groupe de roues horizontales contre un rail médian, un poids adhérent total qui équivaut au moins au double du poids absolu du moteur.

Dans le projet que M. de Landsée a étudié, il s'est posé ce principe :

Une machine locomotive à rail central devra pouvoir desservir une voie privée dans certains points de son rail médian.

Cette condition lui paraît nécessaire pour que les manœuvres puissent être opérées d'une manière facile et usuelle.

C'est ainsi que M. de Landsée suppose l'absence du rail central aux changements de voies, aux passages à niveau et dans toutes les parties du parcours présentant d'assez faibles rampes pour que le rail médian ne soit plus nécessaire ; il devient même nuisible dans ce dernier cas.

M. DE LANDSÉE ajoute que ces locomotives doivent être établies pour franchir des rampes ayant jusqu'à 70 millimètres d'inclinaison par mètre, avec des courbes de 50 à 60 mètres de rayon.

Le type de machine qui lui paraît le plus favorable pour satisfaire aux difficultés qui résultent de ces données est celui des machines à quatre roues couplées.

M. DE LANDSÉE a fait une étude complète de ce genre de machine pour une voie de $1^{m}.50$.

La machine pèse 26800 kilogrammes. Chaque essieu portera 13400, charge admissible si l'on emploie des rails en acier.

Si l'on déduit de ce poids total le poids des approvisionnements, le poids de la machine à vide est de 23 tonnes.

M. DE LANDSÉE fait ensuite remarquer que cette machine, du poids de $26^{t}.8$, peut remorquer, d'après les coefficients déduits du travail de MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné ;

Résistances de la machine. . . $12^{k} + 3$ (dans des courbes très-prononcées)
Résistances du train. . . . . . $5^{k}.4 + 3$ »

et en se servant du coefficient d'adhérence, de 0.14 admis ordinairement,

$$\frac{26800 \times 0.14 - 15 \times 26.8}{8.4} = 400 \text{ tonnes}$$

en terrain horizontal.

M. DE LANDSÉE fait observer qu'il faut bien considérer qu'un train de 400 tonnes n'est pas une charge destinée aux locomotives de montagnes, qui sont toujours d'une masse relativement faible. Les charges traînées par ces machines ne doivent être que de 130 tonnes au maximum, avec une vitesse de 20 kilomètres à l'heure. Les 400 tonnes devraient sans doute trouver, théoriquement parlant, dans l'adhérence supplémentaire, un équivalent de traction sur n'importe quelle rampe ; mais M. DE LANDSÉE ajoute que ces conditions sont tellement exagérées qu'une machine

devant y satisfaire est d'une réalisation impossible et incompatible avec les moyens dont la pratique dispose.

En désignant par x le nombre des millimètres de rampe et par T la charge du train, on a, pour la machine projetée et en adoptant les coefficients indiqués précédemment, la relation

$$\frac{26800 \times 0.14 - (12 + x)\, 26.8}{8.4 + x} = T;$$

d'où l'on déduit que pour un train de 125 tonnes, machine non comprise, la rampe maximum sera de $x = 16^{mm}.8$, et que, pour un train de 85 tonnes, la valeur de l'inclinaison peut atteindre $24^{mm}.3$ par mètre.

M. de Landsée fait remarquer que, d'après ces chiffres, ce rail médian n'a sa raison d'être qu'à partir d'une obliquité de rampe de 17 millimètres par mètre pour le premier exemple, et de 25 millimètres pour le second.

En faisant le même calcul, en considérant une adhérence supplémentaire égale à $26^{t}.8$, et, en prenant les mêmes charges remorquées à la vitesse de 14 kilomètres à l'heure, on trouve :

Pour 125 tonnes. . . . . $x = 41.3$
Pour 85 tonnes. . . . . $x = 58.2$.

Enfin, en supposant que les dimensions des cylindres commandant les roues horizontales permettent de porter le poids adhérent supplémentaire à 36 tonnes, on trouve que la rampe maxima qui pourra être franchie avec un train de 125 tonnes à la vitesse de 10 kilomètres, avec une machine de $26^{t}.8$, est de 50 millimètres d'inclinaison par mètre, et qu'une rampe de 70 millimètres peut être franchie en abaissant le poids remorqué à 85 tonnes.

M. de Landsée considère ensuite un chemin de fer de moyen trafic avec voie de $1^{m}.10$. Il suppose que la machine employée pèse 20 tonnes avec son chargement, ou $17^{t}.5$ pour le poids de la machine vide.

En appliquant les mêmes considérations que dans les exemples précédents, on trouve que, pour un train de 60 tonnes :

La limite inférieure d'obliquité de rampes, non munies du rail médian, cesse à partir de 26 millimètres ;

L'obliquité des rampes peut atteindre au maximum 61 millimètres, en supposant l'adhérence supplémentaire égale à l'adhérence absolue de la machine.

Si l'on considère l'adhérence supplémentaire au maximum de sa valeur, ce qui explique une réduction de vitesse de 10 kilomètres et une augmentation de diamètre des cylindres intérieurs, on trouve une valeur de $x = 70$ millimètres.

M. de Landsée ajoute que, pour un chemin de fer à voie de petit trafic, la machine pesant 10 tonnes, on trouve qu'une charge de 30 tonnes peut être remorquée sur des rampes ayant des inclinaisons égales à celles indiquées ci-dessus.

M. de Landsée détermine ensuite le volume de vapeur et les diamètres des cylindres que l'on doit employer pour satisfaire aux diverses conditions de traction énoncées précédemment.

M. de Landsée fait remarquer que chaque chaudière de machine locomotive vaporise en raison de l'étendue de sa surface de chauffe, de sa surface de grille, et surtout en raison du tirage artificiel produit par un certain nombre de coups d'échappement

Il cite les expériences remarquables de M. Forquenot, qui ont démontré, par exemple, qu'une machine mixte, marchant à une vitesse réglementaire de 45 kilomètres à l'heure, et ayant une surface de chauffe de 190 mètres carrés, une surface de grille de $1^{mq}.20$ et un diamètre de roues de $1^{m}.78$, est apte à vaporiser 40 à 45 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe; pendant qu'une machine à marchandises marchant à une vitesse de 24 kilomètres à l'heure, ayant une surface de 130 mètres carrés, une surface de grille de $1^{m}.30$ et des diamètres de roues couplées de $1^{m}.37$, vaporise 24 à 26 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

M. de Landsée ajoute qu'on peut conclure de ces expériences : que l'intensité de la vaporisation est due principalement à un certain nombre de coups d'échappement effectués par seconde; la vitesse réelle du train entrant en compte pour une perte relativement faible en raison de la grande quantité de combustible brûlée par seconde.

M. de Landsée fait observer qu'en employant quatre cylindres, deux actionnant les quatre roues verticales, et les deux autres commandant les quatre roues horizontales, on peut arriver au nombre de 8884 coups d'échappement par seconde, pour une machine marchant à 20 kilomètres à l'heure, avec des roues de $0^{m}.80$. Dans ces conditions, qui se rapprochent de celles indiquées par M. Forquenot pour sa machine mixte, en comptant sur une vaporisation de 45 kilogrammes par mètre carré et par heure, la chaudière de la machine projetée, ayant 87 mètres carrés de surface de chauffe, marchant à 10 kilogrammes par centimètre carré, en supposant une contre-pression de $1^{k}.5$ par centimètre carré, peut fournir la vapeur nécessaire, pour satisfaire aux conditions de traction indiquées sur rampe de 70 millimètres.

M. de Landsée décrit ensuite sa machine à rail central.

Dans son projet, il a adopté les principes suivants :

La machine à rail central ne peut rendre des services que par une divisibilité de son adhérence.

Cette divisibilité implique la construction d'une machine pouvant fonctionner à un moment donné et selon le besoin, indépendamment de son groupe de roues horizontales.

Ce dernier problème n'est résolu pratiquement que par la présence de 4 cylindres, l'emploi de ces cylindres permettant en sus de compter sur une évaporation plus que suffisante.

Le poids absolu d'un moteur pour grand trafic ne peut guère dépasser 26800 kilogrammes en service, et prescrit indubitablement au point de vue pratique, pour une valeur équivalente, le maximum de pression que pourra atteindre l'adhérence supplémentaire.

Il existe une limite inférieure d'obliquité de rampe où la présence d'un rail médian peut être omise.

Il existe de même une limite supérieure de rampe qui ne dépend que de la valeur de la charge du train.

M. de Landsée montre à la Société un dessin très-complet de sa machine, et traite plus complétement les deux questions les plus importantes au point de vue pratique et qui font partie inhérente du système.

L'accouplement du groupe des roues extérieures et intérieures se fait par la vapeur elle-même.

A cet effet, le mouvement des tiroirs est pris sur la roue d'arrière, et est transmis aux tiroirs à l'aide de deux leviers distincts.

Un arbre de relevage est commun pour les deux distributions.

L'arrivée de la vapeur à chaque groupe de cylindres est commandée par un régulateur spécial, qui permet d'arrêter et de remettre en marche le groupe des roues horizontales tout en conservant le mouvement aux roues verticales.

La pression est donnée sur ces roues horizontales à l'aide d'un mécanisme placé à la portée du mécanicien. Un cadran lui permet de se rendre compte de cette pression.

L'accouplement des roues horizontales a lieu par l'emploi de deux petites roues coniques, dentées et à friction.

Le but réel de cet accouplement n'est pas de transmettre de grands efforts, chaque groupe de roues étant commandé par un cylindre, mais plutôt de régulariser le mouvement et d'assurer le passage des points morts.

L'emploi de cette disposition d'accouplement, sans manquer à son but principal, permet un léger rapprochement ou écartement des roues horizontales.

M. de Landsée termine sa communication en ajoutant que son projet lui paraît réaliser la machine de montagne par excellence.

Par suite de la divisibilité de son adhérence, cette machine rentre dans les types des machines existantes, et peut circuler dans toutes les voies actuellement en exploitation.

Ce dernier point est d'autant plus remarquable, que le garage de ces machines ne demande aucune disposition particulière à apporter dans la voie.

M. Maldant croit que, dans les pays de montagnes, l'addition d'un rail central pour le passage des fortes rampes peut présenter de grands avantages; et que les études faites pour arriver à un résultat pratique de la question présentent le plus grand intérêt. Il ne pense pas que l'addition proposée puisse ou doive dépasser des applications tout exceptionnelles; il demande à M. de Landsée à partir de quelles inclinaisons il pense que l'addition du rail central deviendra sérieusement avantageuse.

M. de Landsée répond que cette limite inférieure d'inclinaison varie avec la charge traînée, comme il l'a indiqué dans sa communication.

M. Maldant demande si on a pensé, dans l'étude du projet, à la difficulté, sinon à l'impossibilité matérielle d'obtenir le roulement des galets horizontaux à une hauteur uniforme sur le rail central.

M. Normand trouve que les roues horizontales travaillent dans de meilleures conditions que les roues ordinaires; il n'y a pas à redouter, comme pour celles-ci, des glissements continuels des roues sur le rail, et par suite M. Normand croit que les roues centrales seront, ainsi que le rail, dans de meilleures conditions d'usure.

M. Maldant craint que sa demande n'ait pas été complétement comprise : il croit, comme M. Normand, que les roues horizontales plates pourront présenter une meilleure adhérence que les roues coniques ordinaires; mais il ne croit pas que ces roues seront nécessairement à l'abri du patinage; le patinage devra, au contraire, s'y produire dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire dès que l'adhérence des roues sera inférieure à la puissance qui les conduit.

M. Maldant ajoute que son observation, qu'il croit très-importante, porte surtout la nécessité et les difficultés de maintenir à une hauteur fixe la ligne de roulement des roues horizontales sur le rail central, malgré l'usure des bandages des roues verticales, l'élasticité des ressorts de suspension, etc.

Si cette ligne de roulement ne pouvait pas être maintenue sensiblement à la même hauteur, il faudrait augmenter beaucoup la hauteur et la solidité d'attache du rail central, et il s'y produirait dans bien des cas un frottement anormal et distinctif.

M. Le Président demande à M. de Landsée si, dans son projet, les bandages des roues horizontales de la locomotive doivent bien porter neuf tonnes.

M. Tardieu trouve que le principe de la distribution unique pour les deux groupes de cylindres est défectueux. Au bout d'un petit nombre de tours et par suite des glissements, la distribution se fera dans de mauvaises conditions pour les cylindres intérieurs dont la distribution est réglée par les mouvements du mécanisme extérieur. C'est comme si, dans une marche à double traction, on voulait faire conduire les tiroirs de la deuxième machine par les excentriques de la première.

M. Dallot demande si l'on ne rencontrera pas d'inconvénients dans l'emploi d'engrenages établissant la connexion des roues de droite et des roues de gauche de la machine.

M. Tardieu ajoute qu'il croit savoir qu'aux machines du Mont-Cenis, cette connexion était dans l'origine établie au moyen d'engrenages.

M. de Landsée fait au tableau un croquis de la disposition des transmissions de mouvement de la machine Fell. Il ajoute que, dans son projet, les engrenages ne servent exclusivement que pour faciliter le passage des points morts, et qu'ils ne sont pas destinés à transmettre de grands efforts.

Répondant à l'observation de M. Tardieu, M. de Landsée ajoute qu'il n'a employé la distribution unique que pour simplifier le mécanisme, mais que rien n'empêche d'établir des distributions distinctes pour chacun des groupes des cylindres moteurs.

M. de Landsée croit, qu'au maximum, on peut charger les bandages de roues horizontales du poids de neuf tonnes, en augmentant les surfaces de contact.

M. Le Président remercie M. de Landsée de la communication qu'il vient de faire. Son projet lui paraît bien étudié.

Messieurs Foulon y Tudo et Thomas ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 4 Décembre 1867.

Présidence de M. Love.

M. le Président annonce que la Société a reçu de M. Tourneux, inspecteur général des chemins de fer, un exemplaire de son second Mémoire sur l'abaissement des tarifs des chemins de fer en Belgique. Il prie M. Eugène Flachat de vouloir bien rendre compte de ce travail à la Société, en même temps qu'il l'entretiendra du premier travail de M. Tourneux sur cette question.

M. Bobin donne lecture d'une lettre qu'il a adressée à M. le Président sur un nouveau système d'éclissage des voies ferrées.

Ce nouvel éclissage dû à M. Tudor, ingénieur à Boston, a été breveté en France le 17 octobre 1867. Il se compose de deux éclisses, qui ne diffèrent du type ordinaire que par l'addition d'une rainure longitudinale venue au laminoir, et placée suivant l'axe sur le côté convexe de l'éclisse. Un boulon passant librement à travers le rail et les deux éclisses est muni d'une vis différentielle qui reçoit deux écrous conjugués, à tête carrée, venant au serrage s'engager exactement dans les rainures des éclisses. Les extrémités du boulon sont terminées de façon à recevoir une clef qui, en quelques tours, donne une pression aussi énergique qu'on le désire.

Le desserrage sous l'action des trépidations est impossible par le fait de la rotation des écrous, car il exigerait la rotation du boulon lui-même. Le serrage est constant et indéfini.

Tandis que, dans le système ordinaire, le boulon reste fixe; mais l'écrou se desserre, et par suite n'exerce plus de pression.

L'avantage principal du nouveau système est : la sécurité complète des joints, ce qui dispense de la surveillance continue qu'exige l'éclissage ancien, et donne une certaine économie; d'ailleurs il ne coûte pas plus cher. Les éclisses sont plus légères, $8^{kgr}\cdot200$ au lieu de 9 kilog.; mais les boulons sont plus lourds, 595 grammes l'un, au lieu de 500 gr.; les boulons nouveaux estimés 400 fr. la tonne au lieu de [illegible]. Mais en résumé chaque éclissage coûte 2^f665 dans les deux cas.

La Commission des inventions a émis l'avis ci-après sur l'éclissage de M. Tudor.

« La Commission a constaté que vous aviez rendu pratique la solution du pro-
« blème que vous vous étiez proposé pour le serrage des éclisses, et qu'il était permis
« d'espérer que cette solution, à la fois simple et élégante, passerait dans l'appli-
« cation. »

L'essai de cet éclissage doit être fait par la Compagnie des chemins de fer de la Charente, dont M. Love est le directeur. M. Love en adoptant ce système a prévu le cas où, contre toute attente, il ne réussirait pas. On pourrait revenir très-facilement à l'ancien système, en ayant soin de donner aux rondelles ordinaires une forme carrée, s'adaptant parfaitement dans la rainure de l'éclisse, et en donnant à cette rondelle une épaisseur supérieure de 1 millim. à la profondeur de la rainure.

M. Love confirme ce qui vient d'être dit par M. Bobin au sujet du système de M. Tudor; il annonce qu'il va, concurremment avec ce système, faire l'essai du boulon d'éclisse imaginé par M. Lucas, ingénieur des ponts et chaussées, au moyen duquel on obtient non pas un serrage complet, mais le maintien en place de l'écrou du boulon qui ne peut tourner, quelles que soient les trépidations.

L'écrou est entaillé symétriquement, parallèlement à l'axe, de trois rainures, et la tige du boulon porte également deux rainures de mêmes dimensions que celles de l'écrou.

Lorsque l'on visse l'écrou sur la tige, à chaque sixième d'un tour de l'écrou, des rainures se trouvent en regard, et si dans le vide ménagé on introduit une clavette qui remplisse à la fois les deux rainures en regard, il est évident que l'écrou ne pourra plus tourner.

Tel est le système de Lucas, qui doit être essayé aussi aux chemins de fer du Midi, mais qui ne présente pas la même solidité que celui de M. Tudor, puisqu'il arrivera nécessairement qu'en certaines circonstances il s'en faudra de presque 1/6 de pas de la vis qu'on ait un serrage à fond.

M. Normand a été frappé des avantages du système Tudor, et il pense qu'il

moyen de quelques dispositions très-simples, il pourrait être appliqué dans la construction des machines.

M. le Président donne la parole à M. Richard, pour rendre compte de la brochure de M. J. Michel, ingénieur des ponts et chaussées, intitulée : *Trafic probable des chemins de fer d'intérêt local.*

M. Richard expose que M. Michel a eu le but très-louable de fixer les incertitudes qui naissent toujours en présence d'une enquête sur les sources et la valeur probables du trafic d'un chemin de fer en projet, — et que pour arriver à ce but M. Michel s'est proposé de traduire ces éventualités en formules mathématiques.

Avant d'aborder ces formules, M. Richard discute brièvement quelques principes trop exclusifs émis par M. Michel, sur la construction et l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local; mais l'objet principal de sa communication à la Société étant l'examen de la brochure de M. Michel, il veut éviter de rentrer dans le vif d'une discussion qui, bien que déjà longuement débattue, se représentera certainement encore devant la Société.

Voici, dit M. Richard, quelle est la méthode proposée par M. Michel pour remplacer les renseignements multiples que l'on doit grouper dans une enquête de trafic.

M. Michel estime que le trafic probable d'un chemin de fer doit se déduire à peu près exclusivement du chiffre de la population de la contrée traversée; il admet que le mouvement des voyageurs et des marchandises est, avec la population, dans un rapport à peu près constant, dans un même pays, et que dès lors, en étudiant un chemin de fer construit depuis quelques années dans un pays défini, et en comparant le chiffre du trafic à celui de la population desservie, on déterminera le coefficient à appliquer pour évaluer le trafic probable d'une ligne qui serait projetée *dans une région analogue.*

Poursuivant son idée, M. Michel a fait le relevé :

1° *Du nombre d'habitants* affectés à chaque station des grandes lignes de France, d'après le groupement des populations dans un rayon de 6 à 8 kilomètres;

2° *Du nombre des voyageurs* de chaque station;

3° *De la demi-somme* (afin d'avoir une moyenne du mouvement dans les deux sens) *du nombre total de tonnes de marchandises*, expédiées et reçues dans chaque station.

Il a éliminé de ses relevés, comme étant des causes d'erreurs dans ses appréciations : 1° les chiffres fournis par les grandes villes, à cause de la confusion qu'introduiraient soit les réexpéditions, soit le transit; 2° les stations où le mouvement est dû à la proximité d'un centre industriel important; 3° les banlieues des grandes villes, parce que le nombre des voyageurs est dû à la population de la ville voisine, et non au déplacement local; 4° les villages dont la population est inférieure à 1000 habitants, parce que les stations établies près de ces petits villages sont ordinairement motivées par le voisinage d'un centre plus important.

M. Richard pense que ces éliminations ne sont pas rationnelles, si elles s'appliquent à un projet de chemin de fer d'intérêt local, qui ne doit souvent avoir qu'une issue qui, précisément, n'est souvent déterminée que par l'attraction de la grande ville; que par les satisfactions à donner à des centres industriels importants, que par le développement probable de la population d'une vallée favorisée d'un cours d'eau riche de chutes non encore occupées; que par la fertilisation à apporter à des contrées agricoles enclavées, etc., etc., et que ces éliminations faites, il resterait

bien peu de causes déterminantes en faveur d'un projet de chemin de fer d'intérêt local; des grandes lignes seules peuvent les supporter.

Poursuivant son examen, M. Richard explique que, sur les bases indiquées précédemment, M. Michel a établi (pages 16 et 17) deux tableaux, desquels il conclut que

Le rapport entre les voyageurs expédiés et le nombre des habitants d'une station oscille entre 4 et 9, suivant la richesse de la contrée traversée, que la moyenne générale est 6.50, et que, *pour les marchandises, la moyenne générale est* de 2 tonnes 1/10 *par habitant pour toute la France.*

M. Richard ajoute que ces Rapports ne peuvent lui donner une entière confiance pour les appliquer à un chemin de fer d'intérêt local; car ces coefficients résultent d'un transit considérable sur des grandes lignes, ayant l'attraction de transports à grandes distances, qui ne seront jamais le fait d'un petit chemin destiné à faire, dans un parcours réduit, office de messager.

Arrivé à ce point; voici comment M. Michel établit sa formule de trafic. Il dit:

Le trafic est la somme des produits des expéditions et des arrivages par le parcours moyen de chaque voyageur et de chaque tonne de marchandises, et M. Michel traduit ce principe vrai par la formule, T étant le trafic,

$$T = \frac{2\,\Sigma\,(v+t)\,d}{l}$$

où v représente le nombre de voyageurs.

t — la demi-somme de tonnes expédiées et reçues par chaque station.

d — la distance de cette station à l'origine de l'embranchement.

l — la longueur totale de l'embranchement.

Σ — la somme des produits du trafic par les distances. — On multiplie cette somme par 2, pour tenir compte des aller et retour.

M. Richard fait remarquer que cette formule suppose que le mouvement général du trafic ira des stations intermédiaires à la gare d'embranchement sur la grande ligne, et de même au retour, le mouvement des stations entre elles pouvant être considéré comme à peu près nul; cette supposition est vraie pour un chemin de fer d'intérêt local.

Développant la formule (a), M. Michel dit que v et t étant proportionnelles à la population p des diverses stations, elle devient

$$T = \frac{2\,(m+n)\,\Sigma\,p\,d}{l}$$

Si l'on suppose la population concentrée au centre de gravité de la ligne, dont la distance à l'origine de l'embranchement est égale à $\frac{\Sigma\,p\,d}{\Sigma\,p}$, si nous appelons g cette fraction de la longueur totale, nous aurons $\Sigma\,pd = gl\,\Sigma p$, et par suite l'expression (b) devient

$$T = 2g\,(m+n)\,\Sigma$$

Or, dans cette formule, on connaîtra Σp, c'est-à-dire le nombre d'habitants à affecter aux diverses stations, on connaîtra m et n d'après les tableaux que nous avons indiqués (pages 16 et 17 de la brochure); ce sera pour m une valeur variant entre 4 et 9 suivant la richesse de la contrée, et pour n une valeur égale à 2 1/10; on déterminera g, on aura donc la valeur probable du trafic T.

M. Richard dit qu'il ne peut accepter cette valeur qu'avec une grande réserve, puisque tout à l'heure il a contesté les valeurs de m et n.

M. Michel n'a pas arrêté là son travail ; il a voulu également traduire en formule *la recette probable.*

Pour cela, prenant toujours pour bases de ses appréciations les valeurs m, n, g, il a donné pour expression générale de la recette brute par kilomètre

$$K = g\,\Sigma p\,(2m \times 0.05 + 2n \times 0.061).$$

Dans cette formule, 0.05 et 0.061 sont les moyennes des prix de transport par kilomètre, non compris l'impôt du dixième.

Si, dans cette formule, l'on fait $m = 6.50$, $n = 2.16$ et $g = \frac{2}{3}$; on aura $K = 0.60\,\Sigma p$, c'est-à-dire que, en moyenne le produit brut par kilomètre d'un chemin de fer d'intérêt local sera de 0f60 par habitant des stations à desservir.

Si, comme dans les pays riches et industriels, on prend

$$m = 7.50,\ n = 2{,}10,\ g = \frac{2}{3},\ \text{on aura } K = 0{,}66\,\Sigma p.$$

En pays agricole, on prendrait $m = 5.50$. $n = 1.50$, et pour $g = \frac{2}{3}$ on aurait $K = 0.50\,\Sigma p$.

En pays exclusivement vignobles, on prendrait $m = 6.50$, $n = 3.00$, et pour $g = \frac{2}{3}$ on aurait $K = 0.66\,\Sigma p$.

Il faut remarquer que ces valeurs de K varieraient avec la valeur de g qui représente la distance du centre de gravité de l'agglomération à la ligne principale.

Ayant ainsi donné le moyen théorique de calculer *la recette probable*, et se trouvant en présence d'*alea* qu'il ne peut pas se dissimuler à lui-même, M. Michel ajoute (page 23) : Ce ne sera pas toutefois la recette immédiate, mais celle que donnera le chemin *après huit ou dix ans d'exploitation.*

Et, en effet, M. Michel cite (pages 24-25, 26 et 27) des exemples pris dans les lignes d'Alsace et du Midi dont les résultats ne sont pas du tout favorables à sa théorie.

Après ces citations, qui ne peuvent que donner raison au doute sur la possibilité de traduire en formules des résultats aussi variables et aussi aléatoires que les produits d'une exploitation de chemin de fer, M. Michel termine sa Notice en se livrant à des conjectures au moyen desquelles il arrive à établir (pages 31 et 32) que l'économie réalisée annuellement par le public, par la substitution d'un chemin de fer au roulage ordinaire sera approximativement de 0f60 par habitant et par kilomètre, et il en déduit la relation suivante entre le nombre des habitants des stations à desservir par un chemin de fer d'intérêt local, et le chiffre de la dépense qu'il convient de ne pas dépasser pour la construction.

Si 6000 fr. représentent les frais annuels d'exploitation par kilomètre, et si l'intérêt à servir au capital est de 6 pour 100, la part d'une Compagnie dans ces frais de construction ne peut dépasser $\frac{0{,}60\ \Sigma p - 6000}{0.06}$.

D'un autre côté, la subvention à fournir par le département ou l'État ne peut être égale à l'économie réalisée annuellement par le public. Or, si l'on a admis que cette

économie soit 0f60 par habitant, le capital correspondant $\frac{0.60\ \Sigma p}{0.06}$ représentera la limite que peut atteindre la subvention.

Ainsi pour qu'un chemin de fer soit une affaire avantageuse pour le concessionnaire, et profitable pour le public, il faut que la dépense par kilomètre ne dépasse pas

$$\frac{2 \times 0.60\ \Sigma p - 6000}{0.06}$$

ou $20^f\ \Sigma p$ — 100 000 fr., c'est-à-dire *qu'en multipliant par 20 fr. le chiffre de la population intéressée à l'exécution d'un chemin de fer d'intérêt local, et en diminuant le résultat de 100,000 fr. on a le chiffre de la dépense qu'on peut faire par kilomètre.*

M. Richard, après avoir énoncé ce théorème résultant des idées sommairement exposées précédemment, dit en terminant son examen, qu'il voudrait bien que les incertitudes attachées à la création des chemins de fer d'intérêt local pussent être éloignées par des procédés aussi simples que ceux établis par M. Michel, mais que les applications de ces procédés n'ont pu, jusqu'à présent, en justifier l'importance.

Toutefois, en concluant que l'étude à laquelle M. Michel s'est livré donne des procédés plus ingénieux que rigoureux, M. Richard ajoute qu'elle offre un véritable intérêt, et il engage ses collègues à en prendre connaissance. La méthode de M. Michel pourra peut-être servir de fil conducteur au milieu de la série inextricable de documents incomplets et imparfaits auxquels on a recours dans les enquêtes de trafic.

M. le Président fait observer que sans prétendre juger au fond le travail de M. Michel, qu'il ne connaît que par l'analyse qui vient d'en être donnée, il ne peut s'empêcher de reconnaître qu'il a au moins ce mérite de représenter une tentative très-louable de substituer à l'ancien procédé, très-imparfait, une méthode plus approchée pour déterminer le produit probable d'une ligne de chemin de fer qu'on se propose de construire.

Tous ceux qui ont eu l'occasion de faire des estimations de trafic, savent que si l'on se bornait à appliquer aux chemins de fer le trafic en voyageurs et marchandises existant avant leur établissement, le produit ainsi obtenu ne payerait pas les frais de traction de la ligne à établir. L'expérience a montré que la substitution du chemin de fer aux anciennes voies de communication augmente en général dans un rapport considérable le mouvement existant. Ainsi M. Bineau a constaté, en Angleterre, et l'expérience a confirmé ce résultat en France, que le rapport indiquant l'augmentation de la circulation des voyageurs variait de 4 à 15. Pour les marchandises le rapport sans être aussi grand est aussi très-notable, il varie du double au sextuple. D'où il résulte qu'après avoir péniblement accumulé des données statistiques et déterminé le mouvement existant, il faut *arbitrairement* y appliquer un coefficient pour avoir un trafic rémunérateur. Or, l'application de coefficients pareils à ceux dont il vient d'être question revient à déterminer à l'œil le trafic probable. Aussi croit-il qu'à ce procédé il est préférable d'avoir recours à une formule beaucoup plus simple et plus logique et qui consiste à dire : qu'étant donné un pays riche, industriel et peuplé on peut toujours y établir un chemin de fer avec chances de succès, pourvu qu'on le construise économiquement.

A la méthode ancienne, M. Michel propose d'en substituer une autre qui donne des résultats relativement beaucoup plus approchés et nullement arbitraires; c'est donc un progrès. M. le Président en a appliqué une qui se rapproche de celle-là, et qui est

fondé sur ce principe : que dans des pays similaires le trafic est proportionnel à la *population* et à la *production* prises sur une zone de 20 kil., éléments que l'on *trouve* dans la statistique générale de la France. A l'aide de ces éléments on établit deux proportions qui donnent directement le produit probable en voyageurs et marchandises. Bien que cette formule ait donné, par son application aux chemins similaires existants, des résultats assez approchés, il aurait une tendance à se confier de préférence à la formule plus simple et plus générale qu'il citait tout à l'heure, à savoir : que l'on peut établir des voies ferrées partout où se trouve une population assez dense et assez commerçante, pourvu qu'on le fasse économiquement.

M. le Président remercie M. Richard de sa communication.

M. le Président ouvre la discussion sur la communication de MM. Normand et Mallet sur les conditions de travail, l'utilisation et les résultats des divers systèmes de Machines Marines.

M. Belleville demande à présenter quelques observations; il fait remarquer que MM. Normand et Mallet dans leur communication signalent la situation d'infériorité de la flotte à vapeur de notre pays, infériorité qui remonterait à *vingt-cinq ans*.

Ces messieurs, ajoute M. Belleville, font appel à l'action de notre Société pour conjurer si possible « les périls vers lesquels (selon eux) nous entraînerait la fausse « science pratiquée par le Génie maritime, qui verrait sans s'émouvoir apparaître « les comparaisons les plus inquiétantes pour notre puissance maritime. »

C'est précisément parce que cette situation serait « pénible pour tous ceux qui ont « à cœur la considération de leur pays » que nous devons chercher à nous éclairer réciproquement sur le véritable état des choses.

Mes relations avec la Marine impériale depuis 1853, fait observer M. Belleville, m'ont permis de suivre les transformations successives de la flotte, et de recueillir durant cette période des documents qui me paraissent n'être pas en accord avec les appréhensions de MM. Normand et Mallet.

Il est bien admis, je crois, que la valeur d'un bâtiment de guerre ne résulte pas seulement du plus ou moins de force effective de sa machine comparée à sa force nominale, ni même du plus ou moins de poids de la machine, mais bien de l'utilisation de la puissance, de la vitesse réalisée, de la facilité des évolutions, des ressources de l'armement, et enfin des qualités nautiques qui constituent le bon bâtiment de mer et de combat.

Tout d'abord, je crois devoir rappeler qu'en 1850 il n'existait dans aucune Marine militaire des bâtiments à vapeur ayant les qualités voulues pour soutenir la lutte avec les anciens vaisseaux à voiles; l'Angleterre possédait alors trois ou quatre vaisseaux à vapeur destinés à un service de garde-côtes. Le *Bleinheim* était de ce nombre. Ces vaisseaux d'ancien modèle, pourvus de machines peu puissantes, avaient à la vapeur seule des vitesses inférieures à sept nœuds.

A cette même époque on lançait à Toulon le premier vaisseau qui devait résoudre le problème si contesté de la grande vitesse jointe à toutes les qualités nautiques des meilleurs types des anciens vaisseaux à voiles.

Le vaisseau *le Napoléon* créé de toutes pièces par le Génie maritime français et pourvu d'une machine de 900 chevaux nominaux, la plus puissante qui existât alors, a justifié et au delà tout ce qu'on en attendait.

Cette œuvre de progrès toute française a servi de type à la création des flottes nouvelles tant en France qu'à l'étranger ; aujourd'hui, c'est-à-dire près de vingt années après sa mise sur chantier, ce vaisseau est encore considéré comme un des meilleurs bâtiments à vapeur en bois.

Les beaux résultats du *Napoléon* ont été obtenus non-seulement pendant les essais, mais aussi en escadre comme en campagne. Le vice-amiral baron de la Susse, commandant en chef de l'escadre de la Méditerranée, disait, en 1853 : « Le *Napoléon* est aujourd'hui le premier vaisseau à vapeur. » Cette appréciation des qualités du *Napoléon* fut justifiée la même année.

Lorsque les escadres alliées française et anglaise reçurent l'ordre de franchir le détroit des Dardanelles pendant la guerre de Crimée, le *Napoléon* prit à la remorque le vaisseau à trois ponts *la Ville de Paris* portant le pavillon de l'amiral Hamelin et refoula sans difficulté le vent et le courant contraires. Ces deux vaisseaux français dépassant et laissant loin derrière eux tous les autres navires, vaisseaux mixtes ou vaisseaux à voiles remorqués par les plus puissantes frégates à vapeur des deux nations alliées, franchirent rapidement le détroit devant le château des Dardanelles, tandis que toute l'escadre anglaise, impuissante à refouler le vent et le courant dut se résigner à jeter l'ancre sans avoir pu franchir le détroit.

Il fallut que l'escadre anglaise attendît une semaine un temps favorable avant de pouvoir rejoindre l'escadre française, incident qui produisit une très-grande sensation en Angleterre.

Ces faits qui établissaient la supériorité incontestable comme progrès réalisés par la Marine française se passaient il y a seulement quinze ans ; on peut donc affirmer que dès cette époque nous n'étions pas dans la situation d'infériorité qui, d'après les indications de MM. Normand et Mallet, remonterait à vingt-cinq ans.

Après le lancement du *Napoléon* dont les projets avaient été l'objet de critiques très-vives à l'étranger comme en France, l'Angleterre mit sur chantier l'*Agamemnon*, vaisseau du type *Napoléon* ayant des dimensions presque identiques et n'en différant que par un tirant d'eau un peu moindre.

Le tableau suivant donne les dimensions et résultats comparatifs de ces deux premiers vaisseaux rapides.

DIMENSIONS ET RÉSULTATS COMPARATIFS.	DATE DES ESSAIS.	
	NAPOLÉON 1852.	AGAMEMNON 1853.
Longueur totale au pont des gaillards	80m.430	80m.160
Largeur hors bordé au fort	16 .800	16 .860
Tirant d'eau moyen en charge	7 .950	7 .322
Déplacement	5287 tx	5298 tx
Surface plongée du maître-couple	103mq 39	101mq.80
Force nominale	900 chevaux.	600 chevaux.
Nombre de chevaux indiqués	2602	2206
Vitesse en nœuds	13 nds.15	10 nds.21
Coefficient d'utilisation m dans la formule $V = m \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$.	2.125	1.86

A partir de cette époque tous les vaisseaux que la Marine impériale fit mettre sur chantiers furent construits sur les plans du *Napoléon*.

En Angleterre, les vaisseaux mis en chantiers se construisirent tous d'après le même ordre d'idées, avec certaines variantes.

En 1856, les essais du vaisseau *l'Algésiras* en France et du *Marlborough* en Angleterre ont encore donné des résultats comparatifs qui sont de tous points favorables au vaisseau français, et qui sont résumés dans le tableau suivant :

DIMENSIONS ET RÉSULTATS COMPARATIFS.	DATE DES ESSAIS.	
	ALGÉSIRAS 5 août 1856.	MARLBOROUGH 12 mai 1856.
Déplacement	5227 tx	4580 tx
Surface plongée du maître-couple	$99^{mq}.82$	$86^{mq}.30$
Tirant d'eau moyen	$7^{m}.31$	$6^{m}.70$
Force nominale	900	800
Nombre de chevaux indiqués	2696	2718
Nombre de tours de la machine	49	58.5
Vitesse en nœuds	13 nds.37	11 nds.5
Coefficient d'utilisation m dans la formule $V = m\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$.	2.244	1.86

Résultats donnés par l'*Algésiras *avec la moitié de ses feux allumés

Date de l'essai	19 juillet 1856
Nombre de chevaux indiqués	1742 chevaux.
Vitesse en nœuds	11n. 66.
Coefficient d'utilisation	2.306.

Dans le tableau n° 3 de MM. Normand et Mallet il est dit qu'aux essais, le *Napoléon* a développé 1798 chevaux indiqués, et l'*Algésiras* 2057, la réalité est que le nombre des chevaux a été de 2720 pour le *Napoléon* le 29 septembre 1852, et de 2696 pour l'*Algésiras* le 5 août 1856, dans des conditions d'essais moins favorables que pour les vaisseaux anglais, en ce que la base de Toulon est de 6 milles 72 et que la base anglaise est de 1 mille seulement.

Telle était la situation des choses en 1856; lorsqu'il s'est agi d'arrêter la nouvelle constitution du matériel naval français. Il surgit alors un projet d'une grande hardiesse émanant du Génie maritime; il avait pour objet la création de grands bâtiments cuirassés ayant les qualités nautiques des bâtiments en bois et constituant un engin de guerre d'une puissance d'action jusqu'alors inconnue.

Les batteries flottantes blindées qui avaient été construites lors de la guerre de Crimée, en France et en Angleterre, d'après les idées de l'Empereur n'avaient eu d'autre but que de remplir l'office de forteresses flottantes; ce genre de bâtiment bardé de fer avait été à juste titre considéré comme étant sans qualité nautique, d'où il avait été admis d'une manière à peu près générale que la cuirasse était incompatible avec les qualités indispensables pour tout bâtiment devant avoir de la vitesse et tenir la mer par tous les temps.

Aussi l'apparition du projet de frégates cuirassées et la mise sur chantier de ce

type de bâtiment ont-ils été l'objet des critiques railleuses des ingénieurs et publicistes anglais, et jusqu'au sein même du Parlement.

Ces critiques existaient non moins en France, et des hommes du métier craignant qu'elles ne fussent justifiées et redoutant l'insuccès prédit, allèrent jusqu'à faire solliciter l'Empereur de faire discontinuer les travaux commencés.

La vraie science avait si bien présidé à cette conception que malgré des pronostics si peu rassurants la frégate *la Gloire* vint donner raison aux promoteurs de cette conception hardie. Le résultat des essais de ce bâtiment produisit la profonde sensation que tout le monde connaît, et qui a eu pour résultat toute une révolution dans la composition des flottes de guerre et dans la tactique navale.

Dès 1863, l'amiral Penaud commandait dans l'Océan la première escadre cuirassée qui eût existé jusqu'alors. Cette campagne de deux mois, entreprise par les mauvais temps fit ressortir les qualités nautiques des bâtiments cuirassés français.

L'Angleterre s'est mise à l'œuvre avec énergie comme elle l'avait fait dix ans avant pour les vaisseaux du type *Napoléon*, elle a mis en construction toute une flotte d'après les idées nouvelles dont l'initiative et l'honneur reviennent entièrement, cette fois encore, à notre pays.

Je donne ci-contre les tableaux de résultats d'essais de bâtiments cuirassés français et anglais.

BATIMENTS CUIRASSÉS FRANÇAIS.

NOMS des BATIMENTS.	DATES des ESSAIS.	SURFACE plongée du maître-couple.	PUISSANCE développée en chevaux de 75 kilog^m.	VITESSE obtenue.	VALEUR DE m dans la formule $V = m\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$
		mq.		nœuds.	
Gloire.........	11 mai 1861....	97.81	2548	13.50	2.318
Normandie......	25 mars 1862....	97.50	3253	13.30	2.107
Couronne.......	avril 1862....	103.77	3012	13 »	2.154
Magenta........	octobre 1863..	110 »	3500	13.90	2.240
Solférino.......	octobre 1863..	108.21	3631	14 »	2.213
Invincible......	3 mai 1864....	97 »	3332	13.21	2.072
Provence.......	14 février 1865..	98.30	3601	13.94	2.127
Flandre........	26 mai 1865....	101.50	3851	14.42	2.183
Héroïne........	11 juillet 1865...	107.16	3148	13.04	2.154
Magnanime.....	15 mai 1866....	101.06	3222	14.17	2.274
Savoie.........	18 décembre 1866	99.05	3138	13.62	2.193
Revanche.......	5 août 1867....	99.26	3392	13.54	2.125
Guyenne........	13 août 1867....	98.95	3536	13.95	2.149
Gauloise........	22 août 1867....	99.50	3895	14.32	2.153
Valeureuse......	31 août 1867....	101.57	3627	14.27	2.202
Surveillante....	23 octobre 1867..	105.89	3328	13.32	2.152
		Moyennes........		13.718	2.176

BATIMENTS CUIRASSÉS ANGLAIS.

NOMS des BATIMENTS.	DATES des ESSAIS.	SURFACE plongée du maître-couple.	PUISSANCE développée en chevaux de 75 kilog^{m}.	VITESSE obtenue.	VALEUR DE m dans la formule $V = m\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$
		mq.		nœuds.	
Warrior.......	29 décembre 1860	110 »		14.356	
Black-Prince....	27 février 1861..	111.23		13.604	
Defence........	24 avril 1861...	95 »		11.618	
Résistance......	11 avril 1861...	94.16		11.834	
Valiant........	14 octobre 1861..	98 »		12.633	
Royal-Oak......	10 septembre 1862	100.40		12.53	
Prince-Consort..	26 juin 1862....	102 »		13.12	
Royal-Alfred....	15 octobre 1864..	101.30		13.04	
Royal-Sovereign..	8 mars 1864...	102 »		11 »	
Zealous........	7 mars 1864...	105 »		12.50	
Lord Wenden....	27 mai 1865....	104.40		13.45	
Hector.........	septembre 1866	98.50	3256	12.360	1.965
Achilles........	septembre 1866	110 »	5722	14.322	1.956
Caledonia.......	septembre 1866	104 »	4552	12.940	1.867
Océan.........	septembre 1866	102 »	4244	12.896	1.898
Lord Clyde......	septembre 1866	104.40	5807	13.312	1.779
Pallas.........	septembre 1866	76 »	3606	13.058	1.838
Bellerophon.....	septembre 1866	99 »	5966	14.227	1.848
		Moyennes........		12.939	1.878

	Moyenne des vitesses.	Moyenne de m.
Cuirassés français........	13^{n}.718	2^{n}.176
Cuirassés anglais........	12 .939	1 .878

De l'exposé qui précède il ressort évidemment que les grandes transformations qu'ont subies lès flottes de tous pays, depuis vingt ans, proviennent de l'initiative française et que les travaux et progrès considérables réalisés depuis cette époque par le Génie maritime français me paraissent loin de justifier la crainte de périls vers lesquels nous entraînerait la fausse science. Et finalement on peut affirmer avec satisfaction que, durant cette période de vingt années, la Marine de guerre française a certainement été le plus puissant des remorqueurs dans la voie du progrès.

En ce qui concerne les progrès relatifs à la machinerie seule, je citerai, comme exemple, le vaisseau *l'Algésiras* qui, dès 1856, était pourvu d'une machine à action directe bien conçue, dont le poids était de plus de 300 tonneaux inférieur au poids de celle du *Napoléon*, et sa consommation réduite à moins de 1^{k}.800 par cheval indiqué.

Aujourd'hui la Marine impériale a adopté les machines du genre Wolff, que MM. Normand et Mallet considèrent à juste titre comme étant le type le plus économique et le plus convenable pour l'application avantageuse de la haute pression sur mer.

La machine de la *Magnanime*, construite par M. Mazeline d'après ce type, et dont les cylindres de détente ne sont pas pourvus d'enveloppe de vapeur, n'a consommé que 1^{k}.300; sur la *Jeanne d'Arc*, cette consommation est descendue à 1^{k}.240.

Ces résultats peuvent être considérés comme très-satisfaisants pour des machines à faible pression (2 atmosphères 3/4 absolues) et dépourvues de condenseurs à surface qui suppriment les extractions considérables nécessitées par l'alimentation à l'eau salée.

J'ajouterai que je crois savoir que toutes les machines que la Marine impériale fait construire actuellement sont pourvues de condenseurs à surface, et qu'elle aurait déjà réalisé sur une grande échelle un autre progrès, celui d'une pression plus élevée combinée avec les machines du type Wolff, si les oppositions que rencontre tout progrès n'avaient retardé cette solution, qu'à juste titre MM. Normand et Mallet considèrent comme la meilleure.

La haute pression n'est encore appliquée à ce jour par la Marine militaire que sur des canonnières et autres bâtiments d'importance similaire, mais les études sont toutes prêtes pour l'application de ces progrès sur des bâtiments d'une beaucoup plus grande importance.

M. E. Flachat, répondant à M. Belleville, fait remarquer que la communication de MM. Normand et Mallet ne mérite pas la critique dont elle a été l'objet.

Ces Messieurs n'ont nullement mis en question la glorieuse part qui appartient à la France dans le progrès qui a récemment transformé la Marine militaire. Cela n'a pas été constesté par eux.

Il n'était d'ailleurs pas contestable que la France a précédé et guidé l'Angleterre et les autres nations dans la voie qui a fait sortir toutes les marines militaires de leurs anciennes traditions. C'est la construction du vaisseau *le Napoléon* et de la frégate cuirassée *la Gloire* qui a été l'éclair de génie qui a montré le but, et cela est exclusivement dû à un ingénieur français. Tout le monde sait que ces magnifiques spécimens auraient subi le sort de tout ce qui dépasse le niveau des habitudes traditionnelles dans un corps composé d'éléments divisés par d'aussi ardentes rivalités que celui de la Marine, si une puissante protection ne s'était associée à ces deux grandes entreprises.

Sans aucun doute l'Angleterre a marché rapidement et brillamment sur les traces de la France et beaucoup d'ingénieurs considèrent qu'elle a créé, en employant exclusivement le fer à la construction des coques, des instruments de guerre plus durables que les nôtres.

Mais la communication de MM. Normand et Mallet a trait à un autre ordre d'idées. Il s'agit des nouvelles machines marines, résultat d'un ensemble de perfectionnements que nous avons vus se produire successivement depuis quinze ans, et qui, groupés aujourd'hui forment un système complet destiné à donner à la machine à vapeur marine une supériorité réelle, même sur la machine fixe. La marche de ce progrès a commencé par l'application de l'hélice qui, en substituant des machines à grande vitesse aux machines à mouvement lent, a permis d'introduire, en réduisant la dimension des cylindres, les enveloppes métalliques de vapeur; puis est venu le surchauffeur; puis le condenseur à surface, et à la suite de cet appareil, la haute pression et l'emploi de la détente dans la plus large proportion.

Dans cet ensemble de conditions, la machine marine devient supérieure à la machine fixe parce que sa chaudière est forcément alimentée par de l'eau distillée, ce qui n'est possible pour cette dernière que dans le cas très-rare où elle peut disposer de la grande quantité d'eau nécessaire à la réfrigération. Non-seulement la chaudière nouvelle produira plus de vapeur, parce qu'elle ne sera pas revêtue à l'intérieur d'incrustations comme le sont encore les neuf dixièmes des chaudières des machines fixes

alimentées par des eaux douces moins chargées de matières minérales ; en outre, elle sera par cela même plus durable.

Ce progrès important est réalisé depuis plusieurs années par des constructeurs anglais, MM. Randolph et Elder. Une série de grands navires sortis de leurs ateliers a consacré le succès de leurs efforts. Mais nous devons à la vérité, et nous sommes heureux de dire que depuis bien des années aussi M. Normand a, de son côté, pressenti les avantages du système, qu'il l'a constitué en France, et que beaucoup d'entre nous ont connu et suivi ses efforts.

Sans rien ôter à MM. Randolph et Elder du mérite de leurs travaux, sans vouloir rien leur retirer de leur heureuse initiative, nous devons dire que lorsqu'ils trouvaient facilement de nombreuses et brillantes occasions d'appliquer leurs idées, M. Normand était obligé de chercher et de suivre, avec une persévérance obstinée et fiévreuse, les rares et minimes occasions qui s'offraient chez nous. Or, c'est la différence dans le nombre et l'importance des applications qui a produit la grande notoriété des uns et l'obscurité relative de l'autre.

Mais si la communication de M. Normand a droit à toutes nos sympathies parce qu'il est notoire qu'il est seul en droit de réclamer, en France, le mérite d'avoir distingué la voie nouvelle et d'avoir lutté avec acharnement pour la faire prévaloir, autant il est permis d'en dégager les critiques inutiles et assurément injustes du passé, dont il a accompagné l'exposé de ses vues et de ses travaux.

Il est toujours facile de condamner le passé, parce qu'il ne pourrait se justifier que par ses raisons d'avoir été, et que ces raisons s'oublient vite.

Il suffit d'en résumer les faits principaux pour faire reconnaître qu'à chaque âge revient sa part de perfectionnements; que les améliorations successives ont été une conséquence rationnelle du progrès des sciences, mais que l'essor définitif devait appartenir au condenseur à surface, car c'est le succès de cet appareil qui a seul permis l'emploi de la vapeur à haute pression.

On peut séparer les progrès de la machine marine transatlantique en plusieurs étapes.

C'est d'abord l'époque de la basse pression et des roues ; avec les vastes chaudières, les machines à grands cylindres, la faible vitesse de piston (12 à 16 révolutions), les grands poids d'appareils, l'encombrement résultant de leurs énormes dimensions et cependant un faible volume relatif fourni à la vapeur dans les cylindres.

Puis vient, à la suite de l'hélice, plus de vitesse du moteur (30 à 35 révolutions), des cylindres plus petits, des appareils plus légers, et cependant un plus grand volume offert dans les cylindres à la vapeur dont la pression est sensiblement relevée.

Bientôt commence une période d'améliorations dans l'utilisation de la vapeur ; c'est le surchauffeur : ce sont les enveloppes métalliques des cylindres, l'application de l'idée de Wolff pour accroître le volume offert à la vapeur en faisant passer celle-ci successivement dans deux cylindres. La pression effective est alors portée dans les chaudières à 125 centimètres de mercure.

Puis vient enfin la période de succès incontesté du condenseur à surface. La pression est relevée jusqu'à cinq atmosphères effectives, le volume fourni à la vapeur dans les cylindres prend d'énormes proportions. Les dimensions des cylindres sont cependant de plus en plus réduites, mais on aborde la vitesse de 60 à 70 révolutions pour les machines.

Dans la première période un navire transatlantique à roues, de 3,200 tonneaux

de jauge et de 900 chevaux de force, consomme, dans la traversée du Havre à New-York, 1158 tonnes (*Europe*); sa vitesse en service est de 10m.74 avec 13 tours de roues. Dans la seconde, un navire exactement semblable (le *Saint-Laurent*), ayant même coque, même chaudière, muni d'une hélice, consomme encore 1045 tonnes, mais sa vitesse en service s'élève à 11m.90. Sa machine fait 35 tours, l'hélice 61. L'enveloppe métallique des cylindres, le condenseur à surface, et l'accroissement du volume offert à la vapeur daus les cylindres ont amené cet important résultat. En outre, le navire offre en installations de voyageurs et en cale à marchandises un accroissement d'effet utile notable.

Second exemple :

Dans la première période, un autre navire transatlantique à roues semblable aux précédents (*Washington*) avait une vitesse de 10 nœuds en service. Il consommait 96 tonnes de charbon par 24 heures. Dans la seconde période, ce même navire transformé, mais sans changement dans la forme de la coque et dans sa chaudière, est muni de deux hélices et prend en service une vitesse de 11m.80; sa consommation dans les vingt-quatre heures est réduite à 83 tonnes, et, en outre, elle est diminuée en raison inverse de l'accroissement des vitesses. Un succès complet accompagne donc cette nouvelle transformation qui est étendue à un troisième navire (le *Lafayette*).

Après ces heureuses transformations, la même Compagnie française entre dans la troisième période des améliorations récentes en faisant construire pour la navigation du *Pacifique*, trois grands navires munis de chaudières à haute pression, à deux hélices: machines légères faisant 66 révolutions et offrant un volume considérable à la vapeur, des cylindres enveloppés, condenseur à surface et surchauffeur.

Ce travail est dirigé, comme celui des précédentes transformations, par un ingénieur français, M. Convert; il est exécuté par des ateliers français (chantiers et ateliers de l'Océan). Les machines du *Saint-Laurent* et celles du *Lafayette* ont été faites par le Creusot, celles du *Washington* par M. Napier de Glasgow.

Enfin, le plus grand des navires transatlantiques français (*Napoléon III*) consomme par vingt-quatre heures 115 tonnes, sa vitesse est de 10m.58. Aujourd'hui, la Compagnie transatlantique accepte l'offre qui lui est faite, moyennant une somme équivalente au cinquième de la valeur du navire, de substituer aux roues deux hélices, de transformer les machines et les chaudières dans le système de Randolph et Elder sans rien changer à la coque, de réduire la consommation par vingt-quatre heures à 70 tonnes, et de porter la vitesse en service à 12 nœuds.

La Compagnie du Royal-Mail, la plus expérimentée entre toutes, qui a passé d'abord par les plus fortes épreuves à cause de l'insuffisance de son premier matériel naval, puis par la plus grande prospérité quand elle était seule avec d'excellents navires à roues, maîtresse des lignes qui lui sont aujourd'hui vivement disputées, traverse une nouvelle crise et elle transforme, après neuf ans de service, ses plus beaux navires à roues, la *Seine* et le *Shannon*, de 800 chevaux de force, en navires à deux hélices; elle les munit de chaudières et de machines du système de Randolph et Elder. De ses huit navires transatlantiques en fer, tous à roues, il ne va plus lui en rester qu'un seul, l'*Atrato*. Les autres sont ou vont être transformés en hélices. L'histoire de la Compagnie des Messageries impériales, de la Compagnie Péninsulaire et Orientale, de la Compagnie Cunard, celle en un mot de toutes les Compagnies transatlantiques n'est qu'une longue série de renouvellements et de progrès. La Compagnie du Royal Mail a acheté 45 navires pour un matériel naval qui n'en a jamais réclamé plus de 17. La

Compagnie des Messageries impériales en a construit ou acheté 76 pour un service qui n'en exige que 59. La Compagnie Péninsulaire et Orientale en a acheté 89 pour en conserver 49. — De sa magnifique flotte de navires à roues, il ne reste plus à la Compagnie Cunard qu'un seul navire, *le Scotia;* tout le reste est, depuis peu, vendu, ou dépecé, ou remplacé par des hélices. Le *Persia*, qui avant l'apparition du *Scotia* (1863) était le plus puissant et le plus rapide des steamers à roues, qui avait coûté quatre millions, vient d'être vendu 380,000 fr., moins du dixième de son prix. Il devient un gros *transport marchand* avec une forte voilure et une machine à hélice de 200 chevaux. Le même sort est réservé au *Scotia* s'il n'est prochainement transformé.

Cet ensemble de faits qui modifient chaque jour le matériel naval des Compagnies transatlantiques subventionnées, représentant une valeur de 300 millions, démontre l'importance technique des questions sur lesquelles MM. Normand et Mallet ont attiré l'attention de la Société.

Ce n'est plus une simple question d'économie pour notre marine commerciale, c'est une condition de vie ou de mort qui se débat. Les constructeurs les plus renommés de l'Angleterre, et à leur tête, M. Napier, entrent dans la voie pratiquée en Angleterre par MM. Randolph et Elder, et tracée en France par M. Normand.

Nous y sommes, il est vrai, si peu préparés qu'il n'existe aucun règlement administratif qui s'applique, en France, à la chaudière marine à grand diamètre et à haute pression. Il est heureux que les machines locomotives aient frayé la voie à cet égard, et que des progrès récents et considérables dans la fabrication de la tôle viennent opportunément aider à la solution de cette question.

Si la critique porte difficilement sur une marche aussi active dans la voie du progrès de la marine commerciale, serait-elle plus juste en ce qui concerne la machine employée dans la marine militaire. Là, les intérêts ne sont plus les mêmes. La sécurité dans la marche passe avant l'économie du combustible et avant la légèreté du moteur. Il faut une grande perfection mécanique; cet intérêt se place en première ligne, et les dispositions récentes, telles que l'emploi préconisé par M. Dupuy de Lôme des machines à trois cylindres, loin de prêter à la critique comme système, favorisent, au contraire, les grandes vitesses du moteur, et permettent de fournir à la vapeur un plus grand volume dans les cylindres.

La communication de MM. Normand et Mallet a été faite avec un soin pour lequel il est dû à ces Messieurs de vifs remercîments. — Elle a été très-laborieusement étudiée. M. Flachat croit qu'elle eût été améliorée par la suppression de la partie critique, et qu'en lui donnant son véritable caractère, celui de l'affirmation de la voie dans laquelle toutes les marines doivent s'engager pour utiliser enfin la vapeur, les idées de ces Messieurs ne rencontreraient pas un contradicteur.

MM. Normand et Mallet, répondant d'abord aux observations de M. Belleville, prient la Société de remarquer que le Mémoire qu'ils lui ont présenté sur *les Utilisations des machines*, n'a pas le moindre trait aux résultats des propulseurs, des carènes et de l'armement général des navires de guerre, considérations qui ont alimenté pourtant la presque totalité des critiques de M. Belleville. Le Mémoire en discussion a uniquement pour but l'examen de toutes les parties constitutives de la force motrice; ses auteurs auraient donc le droit de rester sur le terrain de la discussion et ne voient pas quel résultat on pourrait trouver à l'étendre aussi démesurément, si ce n'est de la rendre inintelligible et sans fruit. Toutefois ils ne doivent pas laisser sans réponse quelques assertions très-contestables.

Une autre fois ils pourront avoir l'honneur de présenter à la Société un travail sur les Utilisations des carènes et les autres questions dépendant du navire, et ils voudraient avoir sur ces points à constater une situation meilleure que celle qui est faite à la Marine impériale, au point de vue des appareils moteurs.

Mais, alors même qu'il serait établi dès aujourd'hui que, sous quelques rapports, nous avons la bonne fortune de posséder une avance sur nos rivaux, voudrait-on nous montrer là un motif de nous tenir pour satisfaits d'un rendement si inférieur quant à la force motrice, et devrions-nous ne considérer les avantages qui nous seraient acquis que comme un motif de les dissiper, et au delà, sur un autre point?

MM. Normand et Mallet acceptent, mais pour une partie seulement, la correction qui leur est demandée pour les puissances effectives du *Napoléon* et de l'*Algésiras*, lesquelles sont cotées dans l'ouvrage de M. *Ledieu* à 2242 et 2163 chevaux respectivement, *résultats des essais*, au lieu de 1798 et 2057, chiffres qu'ils avaient puisés dans le traité de M. *de Fréminville*. Mais ils croient inacceptables les chiffres de 2600 et 2700 chevaux présentés par M. Belleville, car ces chiffres diffèrent trop de ceux émanant de sources que l'on doit regarder comme véritablement officielles. On sait que M. de Fréminville est sous-directeur de l'École d'application du génie maritime, et que M. Ledieu, ex-officier de vaisseau, est examinateur des mécaniciens de la marine; les deux ouvrages cités ont d'ailleurs été publiés avec l'autorisation de M. le Ministre de la marine, et au surplus peut-il être d'un grand intérêt de prouver que deux machines françaises fournissaient en 1852 et 1856 un rendement de 215 et de 225 kilogrammètres?

MM. Normand et Mallet eussent été heureux d'avoir à faire des rectifications plus considérables, et qu'on leur eût démontré qu'ils s'étaient exagéré l'importance du mal. Mais, après avoir entendu les observations de M. Belleville et celles de M. Flachat, ils doivent conclure que la situation qu'ils ont eu le regret de signaler est incontestée aujourd'hui, et qu'en ce qui concerne la puissance effective rapportée soit à la force nominale, soit au poids ou au prix de revient des appareils, notre génie maritime est satisfait d'un effet utile qui n'atteint pas les *deux tiers*, et parfois même la *moitié* de celui qui est aujourd'hui la règle dans la marine anglaise.

Tous ceux qui s'intéressent à l'honneur et à la sécurité de leur pays ne sont-ils pas en droit de chercher à savoir si cette situation est acceptée comme normale par les chefs de notre Marine, et si c'est bien là le rôle qu'ils réservent définitivement à la France?

Il serait puéril de dissimuler plus longtemps les conséquences du présent état de choses.

La légèreté incontestée de ses machines permet à la marine anglaise de doter beaucoup plus largement les éléments de l'Offensive et de la Défensive du vaisseau, c'est-à-dire d'employer une artillerie d'une puissance supérieure et des cuirasses plus épaisses. Nos voisins se sont ainsi mis à même d'employer sur leurs navires des canons du poids de 24 tonnes et des cuirasses de 25 centimètres d'épaisseur, proportions inconnues chez nous.

M. Belleville pourrait-il nous démontrer qu'il existe une compensation à de pareils désavantages dans la prétendue supériorité de marche de nos bâtiments? Que valent au juste les moyennes qu'il a si complaisamment dressées?

Il est établi, même par les chiffres présentés par M. Belleville, que les bâtiments de premier ordre, c'est-à-dire de récente construction dans les deux flottes, ont des vitesses égales, soit *treize* à *quatorze* nœuds, pour les uns comme pour les autres.

Quant à une vitesse moyenne, pour l'établir d'une manière acceptable, on ne doit évidemment employer, de part et d'autre, que des éléments de même rang et de même valeur relative dans chaque flotte.

Or, M. Belleville a comparé les résultats des seize meilleurs navires de notre flotte à ceux de vingt bâtiments anglais, évidemment pris au hasard, car il a oublié d'y comprendre bon nombre des plus puissants et des plus rapides, tels que l'*Hercules*, le *Monarch*, l'*Azincourt*, le *Minotaur*, le *Northumberland*, en même temps qu'il y faisait figurer les batteries flottantes *Défense* et *Résistance* et de vieux vaisseaux transformés, tels que le *Royal-Oak*, le *Caledonia*, l'*Océan* et le *Royal-Sovereign*, que nos rivaux n'ont jamais considérés que comme une flotte de transition.

Dans cette flotte provisoire, l'Angleterre a trouvé l'utilisation d'un matériel énorme qui a été chez nous perdu sans aucune compensation. Mais par-dessus tout, et suivant en cela ses traditions de sagesse et de prévoyance, elle a accompli avec maturité l'élaboration des terribles machines de guerre qui résument aujourd'hui dix années de bouleversements, et en présence desquelles les premiers cuirassés feraient aussi triste figure qu'eussent fait les anciennes carcasses de bois devant les premières murailles de fer ; car il ne faut pas s'y tromper, une cuirasse insuffisante constitue un état de choses beaucoup plus fâcheux que l'absence de protection.

M. Belleville a insisté sur la supériorité de l'utilisation des hélices et des carènes françaises. Suivant les moyennes qu'il a dressées, les Anglais ne peuvent encore propulser *un mètre carré de section transversale immergée* qu'à $1^{m}.876$ de *vitesse par seconde pour chaque cheval indiqué*, tandis que notre génie maritime atteindrait pour *la même mesure* $2^{m}.476$.

Or, le travail accompli croissant comme le cube des vitesses, ce serait une supériorité d'utilisation de 56 p. 100, laquelle suffirait, dit-on, à compenser les deux à trois mille chevaux qui, on le reconnaît, manquent à nos cuirassés pour atteindre la puissance des derniers vaisseaux anglais.

Ce n'est pas la première fois que la France est payée de ces décevantes affirmations.

M. Flachat, notre éminent président honoraire, vient de faire le tableau vrai des résultats de vitesse de ces paquebots transatlantiques, enfants du génie maritime, qui eux aussi avaient réalisé, sous l'œil des commissions savantes, ces vitesses et ces utilisations magnifiques qui, au bout de quelques mois, conduisaient la Compagnie à commander d'urgence à Robert Napier deux navires de sauvetage, *le Pereire* et *la Ville de Paris*, où elle a été trop heureuse de rencontrer les utilisations anglaises, dont l'insuffisance doit, paraît-il, composer aujourd'hui toute notre sécurité.

Mais, admettant que nos bâtiments possèdent une partie des avantages annoncés dans l'utilisation, que vaut, après tout, cette supériorité ? combien n'est-elle pas éphémère et à quel prix n'est-elle pas réalisée ?

A l'exception de deux bâtiments, *la Couronne* et *l'Héroïne*, la flotte cuirassée de la France est exclusivement composée de navires en bois, auxquels le doublage en cuivre assure au début un avantage de vitesse qui ne peut être estimé à moins d'un nœud, comparativement à des carènes de mêmes dimensions construites en fer, ainsi qu'il apparaît par les résultats inférieurs de vitesse des deux bâtiments susmentionnés.

La commission de la Marine impériale, à l'Exposition universelle de 1867[1], nous

1. Cette commission était composée de MM. les amiraux Labrousse et Lefebvre, de Jonquières, capitaine de vaisseau, de Lencia, colonel d'artillerie de marine, Mangin, de Fréminville, Dislère et Baudry, ingénieurs de la marine, et Delbalat, ingénieur hydrographe.

apprend ce que devient cette supériorité de vitesse après quelque temps de séjour à la mer.

« La *Normandie* et la *Gloire* n'avaient guère que la vitesse de la *Couronne*, ce qu'on » attribuait au *salissement de leurs carènes en bois doublées de cuivre*. Cette opinion, « que rendait plausible la diminution journalière de l'avance par tour d'hélice des « bâtiments en bois par rapport à celle des bâtiments en fer, a été confirmée par la « visite des carènes, lorsque après la campagne chacun des bâtiments de l'escadre a « passé au bassin de Toulon[1]. »

La nouvelle flotte cuirassée de l'Angleterre est composée de navires en fer, qui, en outre d'une durée indéfinie, ont la totalité de leur enveloppe divisée en cellules, ce qui rend presque sans danger pour eux le combat par le choc et même l'explosion des torpilles, alors qu'un seul coup de bélier pourrait être fatal à nos vaisseaux en bois.

Telle est aujourd'hui la sombre situation de nos défenses maritimes, et ce n'est pas par de vagues élans de confiance qu'on remédiera aux erreurs commises, mais bien par les résolutions que peut seule inspirer la recherche courageuse de la vérité.

M. Normand a entendu avec une vive satisfaction M. Belleville faisant le récit, d'ailleurs bien connu de tous, des succès de notre premier vaisseau à grande puissance, *le Napoléon*, et de la première frégate cuirassée, *la Gloire*.

Ces précédents nous donnent des droits à une situation meilleure que celle qui nous est faite aujourd'hui, et d'ailleurs ce n'était pas la première fois que la Marine française marchait à la tête du progrès.

Nous pouvons retremper notre confiance dans de tels souvenirs, ils montrent les fruits qu'une initiative intelligente et courageuse peut porter. De pareils titres peuvent suffire à la gloire d'un homme, mais la nation doit avoir des exigences plus soutenues; et si, après dix ou quinze années, elle s'inquiète de la constitution présente de ses moyens de défense, n'aura-t-on rien de mieux à lui donner que des satisfactions rétrospectives, qui seraient de peu de secours au jour de l'épreuve?

M. Normand remercie M. Flachat du témoignage qu'il a bien voulu apporter à l'appui de ses titres à la revendication du système de machines à double détente et à mouvements croisés des pistons, système que M. Flachat reconnaît comme devenant d'un emploi général en Amérique aussi bien qu'en Europe, dans les conditions de pression et de détente que lui, M. Normand, a employées il y a plus de huit ans.

M. B. Normand n'a rien à ajouter au tableau que l'éminent président honoraire de la Société des Ingénieurs civils a fait du sort qui, dans la France moderne, doit appartenir à ceux qui luttent pour les vrais progrès.

M. B. Normand croit pouvoir décliner respectueusement un reproche qui lui a été adressé par M. Flachat. Si, dans le Mémoire qu'il a présenté avec M. Mallet, il a étendu ses recherches et les comparaisons jusqu'à un passé dont nous sommes moins

1. Ce grave mécompte, les carènes doublées en cuivre se salissant plus vite que les carènes en fer, s'explique par les considérations suivantes :

La masse immergée du fer de la cuirasse forme avec le cuivre de la carène un couple galvanique ; l'oxydation est reportée exclusivement sur le fer et le doublage ne fournit plus l'oxyde vénéneux qui protége les navires ordinaires des agrégations végétales et animales. Jusqu'à ce qu'une protection vraiment efficace ait été trouvée contre les actions de cette nature, le résultat des cuirassés doublés en cuivre se résume donc ainsi : Destruction rapide de la cuirasse, — perte de vitesse pour le bâtiment.

éloignés par le nombre des années que par les changements immenses qui lui ont succédé, c'était seulement pour présenter le tableau complet des résultats des divers systèmes des machines marines, et non pas dans un but de critique rétrospective. MM. B. Normand et Mallet se fussent estimés bien heureux de n'avoir que des griefs de ce genre à exposer.

Répondant au reproche qu'a semblé lui faire M. Belleville de n'avoir pas une confiance sans limites dans l'organisation des corps spéciaux chargés d'établir et de faire progresser le matériel de notre marine militaire, M. Normand demande à la Société si l'histoire du monde, dans les dernières années, ne montre pas de quelle utilité il peut être pour une nation de veiller et de participer elle-même à la bonne organisation de ses moyens de défense.

L'Angleterre semble toujours entendre l'ordre du jour du plus illustre de ses amiraux, conviant chaque homme à faire son devoir pour la défense du pays; les questions spéciales de la Marine et de la Guerre sont chaque jour discutées dans le Parlement et dans la Presse devant la Nation entière, qui ne se lasse jamais de cette étude et demeure juge suprême de ces grands débats.

Les chefs des armes spéciales ne regardent pas comme des indiscrets ou des mécontents les *Armstrong*, les *Whitworth* ou les *Fairbairn* qui leur apportent le concours de leur savoir et de leur expérience.

En terminant, M. Normand demande si dans l'épisode, cité par M. Belleville, du combat du *Merrimac* et du *Monitor*, il n'y a pas pour tous une grande leçon à recueillir.

Les eaux de la rivière James virent alors une division de navires établis par l'organisation officielle et régulière de la marine du Nord, presque détruite en quelques heures par le *Merrimac*, machine de guerre improvisée par les défenseurs du Sud. C'en était fait de la puissance maritime de l'ancienne Union, lorsque le *Monitor*, champion inconnu, vint changer la face des choses. Un ingénieur civil, Ericsson, avait jeté sa puissante initiative en avant de tant de capacités officielles, et payait à sa patrie d'adoption sa dette de reconnaissance pour le patronage dont elle avait entouré ses travaux.

M. Belleville fait remarquer que les observations qu'il a cru devoir produire portent seulement sur l'opinion qu'ont émise MM. Normand et Mallet au sujet de la situation de notre marine militaire comparée à celle de l'Angleterre.

Ces Messieurs pensent que la comparaison qu'ils ont établie fait ressortir de notre côté une infériorité et un péril auxquels nous aurait entraînés la fausse science.

Les chiffres que M. Belleville a pu réunir et qu'il a fait connaître tout à l'heure lui semblent prouver que la situation est bien loin d'être critique, et lui paraissent de nature à rassurer notre sentiment national sur l'issue possible d'une collision entre les deux flottes. Tel est seulement le but des observations qu'il a présentées; et loin de vouloir critiquer la communication de MM. Normand et Mallet, il se plaît à reconnaître l'opportunité et la haute importance des questions techniques traitées par ces Messieurs.

M. Belleville a déjà eu le plaisir d'ailleurs d'exprimer à M. Normand combien il apprécie ses travaux.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Séance du 18 Décembre 1868.

Présidence de M. Love.

Le procès-verbal de la séance du 4 décembre est adopté.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 20 décembre 1867, de 902
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de 62

		964
A déduire par suite de décès	7	
— de démissions	5	17
— de radiations	5	
Nombre total des Sociétaires au 18 décembre 1868		947

Les versements effectués pendant l'année 1868 se sont élevés à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc...	29,114 95	40,940 95
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable....	11,826 »	
Il reste à recouvrer sur les cotisations de 1867 et 1868........		9,120 »
Total........		50,060 95
Au 20 décembre 1867, le solde en caisse était de......	4,546 91	45,487 86
Les versements effectués pendant l'année 1868 se sont élevés à........	40,940 95	
Les dépenses diverses de l'année courante, pour impressions, appointements, affranchissements, etc., etc........		27,696 10
Excédant de recettes........		17,791 76
Sortie de caisse pour achat de 42 obligations nominatives........		13,394 50
Il reste en caisse à ce jour........		4,397 26

dont.........	3,968 46	pour le service courant,	
et...........	428 80	pour le fonds social.	
Somme égale.....	4,397 26	....	4,397 26

La Société a en outre en portefeuille, sur son fonds social inaliénable, 354 *obligations nominatives de chemins de fer, ayant coûté*.. 106,910 26

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, et propose de voter des remercîments à M. Loustau, pour son dévouement aux intérêts de la Société.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1869.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

Bureau.

Président :

M. Alcan (Michel).

Vice-Présidents :

MM. Vuillemin (Louis).
Yvon Villarceau.
Mayer (Ernest).
Nordling.

Secrétaires :

MM. Tronquoy (Camille).
Morandière (Jules).
Tresca (Alfred).
Regnard (Paul).

Trésorier : Loustau (G.).

Comité.

MM. Petiet (Jules).
Love (Georges).
Benoît-Duportail.
Farcot (Joseph).
Thomas (Léonce).
Salvetat.
Chobrzynski.
Muller (Émile).
Tresca (Henri).
Laurent (Charles).

MM. Richard (Jean).
Desgrange.
Forquenot.
Brüll.
Guébhard (Alfred).
Goschler.
Alquié.
Huet.
Péligot (Henri).
Callon (Charles).

COMMUNICATION

DE M. LAVALLEY

SUR L'ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

DU

CANAL MARITIME DE L'ISTHME DE SUEZ.

Dans les communications que j'ai eu l'honneur de vous faire, il y a deux ans et l'année dernière, je vous ai successivement décrit les appareils dont nous devions nous servir et les principales dispositions de nos chantiers, puis les différentes phases par lesquelles les travaux avaient passé et les modifications que notre premier programme avait dû subir.

Je viens aujourd'hui vous dire où en sont les travaux, quels sont les principaux faits qui se sont produits depuis un an dans la marche de nos chantiers, quelles sont nos raisons de compter sur l'achèvement du canal pour le 1er octobre prochain. Je vous dirai aussi ce que l'expérience nous a appris sur les frais probables d'entretien, et enfin les principaux résultats de l'étude que la Compagnie a faite des questions relatives à l'exploitation du canal.

Il y a un an, nos différents chantiers étaient arrivés à la période de leur fonctionnement régulier. Le cube des déblais exécutés chaque mois atteignait le chiffre de 1,200,000 mètres. Il a continué à croître rapidement, et, depuis quatre mois, il dépasse deux millions de mètres cubes, ainsi que le constatent les documents que M. le Président de la Compagnie du canal vous envoie tous les mois.

Ce cube se répartit sur toute la longueur du canal, et nous conduisons nos chantiers, de façon à les conserver tous en activité autant que possible jusqu'à la fin. C'est ainsi que nous pourrons maintenir le rendement actuel et arriver à l'achèvement dans le plus court délai.

Voici en quelques mots à quel état d'avancement sont parvenues les différentes parties du canal.

Vous savez qu'à son débouché dans la Méditerranée, le canal traverse sur 60 kilomètres les lacs Ballah et Mensaleh, qui ne sont que d'immenses flaques d'eau sans profondeur, séparées de la mer par une étroite bande de sable, à travers laquelle deux ou trois coupures établissent une communication par laquelle s'écoulent, pendant les crues du Nil, l'eau d'égouttage de la partie du Delta à l'est de la branche de Damiette, et le trop-plein des canaux.

Vous savez aussi que les bassins de Port-Saïd sont creusés dans le lac Mensaleh.

Le chenal qui du bassin s'avance vers les grands fonds à travers une plage extrêmement douce, est protégé par deux jetées maintenant presque terminées. Il ne reste plus qu'à déposer sur les jetées complétement sorties de l'eau quelques blocs de couronnement. Peu de semaines suffiront à MM. Dussaud pour achever leur entreprise.

Le chenal est maintenant ouvert à 7 et 8 mètres, et sur une bonne partie de sa largeur définitive jusqu'aux fonds de 8 mètres. Ce travail sera facilement achevé dans le courant de l'été prochain.

Le grand bassin de Port-Saïd, c'est-à-dire la partie du port plus spécialement destinée aux bâtiments en transit, est creusé à 7m.50 et 8 mètres sur toute son étendue. Il ne reste plus à faire qu'une dernière passe de règlement.

Trois bassins sont réservés au trafic local. Le premier bassin, dit du commerce, est déjà depuis plus d'un an livré aux navires qui y déchargent les marchandises destinées à la consommation de l'Isthme et celles qui transitent en empruntant depuis Ismaïlia jusqu'à Suez le canal d'eau douce.

Le bassin dit des ateliers a 4 et 5 mètres de fond. Nous ne le creuserons entièrement qu'à la fin de nos travaux. Ce bassin sert à l'entretien des dragues et des porteurs de la section de Port-Saïd, aux chalands de notre service des transports, etc.

Une plus grande profondeur rendrait plus difficile le sauvetage des outils, des appareils que les ouvriers laissent souvent tomber à l'eau, d'une drague ou d'un bateau que les travaux d'entretien des coques exposent à couler.

Le troisième bassin n'est que sur un quart environ de sa superficie creusé à 5 et 6 mètres de profondeur. Son pourtour est tracé par un chenal de 2m.50 de profondeur sur 25 à 30 mètres de large.

Port-Saïd est maintenant touché régulièrement par tous les services qui desservent les échelles du Levant.

Ces services sont nombreux : ce sont ceux des Messageries impériales, de MM. Fraissinet de Marseille, de la Compagnie russe de navigation à vapeur, du Lloyd de Trieste, de l'Asizié. Il se passe à peine un jour sans qu'un bateau à vapeur arrive à Port-Saïd, et en parte soit pour la Syrie, soit pour Alexandrie.

Nous vous rappelons que l'exécution du canal à travers les lacs de la Méditerranée a commencé par le creusement de deux chenaux de 20 à 25 mètres de large sur 2 mètres environ de profondeur, et dont les bords extérieurs devaient être ceux du canal définitif.

Ils laissaient entre eux un terre-plein que les dragues à longs couloirs dans les parties où le terrain était très-bas, les dragues à élévateurs dans les parties plus élevées, ont attaqué en rejetant les déblais par delà les cavaliers produits par le creusement de ces chenaux-bordures.

Ce terre-plein a disparu partout, puis les dragues abaissant successivement leurs élindes ont attaqué la cuvette proprement dite. Sur plusieurs points, le canal a déjà atteint $7^m.50$ et 8 mètres de profondeur, et tous les jours de nouvelles portions arrivent à cet état d'avancement. Nous ferons à la fin seulement, c'est-à-dire au moment de livrer le canal, une dernière passe de règlement.

C'est dans les parties où le sondage à la cuiller avait indiqué les terrains les moins consistants que nous avons d'abord creusé le canal à toute profondeur. Sur ces points on rencontre une argile sableuse facilement pénétrable à la sonde et à laquelle avait été trop légèrement donné le nom de vases fluides. De là les craintes qu'on avait conçues, puis exagérées sur la tenue des talus du canal.

Les profils levés dans ces parties argileuses montrent des talus partout inclinés à moins de deux de base sur un de hauteur.

Les sables légèrement limoneux des autres portions tiennent très-bien à deux et deux et demi de base.

Sur les 60 kilomètres qui séparent la Méditerranée du Seuil d'El-Guisr, les talus intérieurs des cavaliers sont partout réglés au profil normal. Ce profil est formé à partir de la ligne d'eau par une ligne inclinée à dix de base sur un de hauteur, et s'étendant sur sept mètres de longueur.

Nous faisons ainsi une espèce de plage qui s'élève jusqu'à 70 centimètres au-dessus du niveau moyen de l'eau. A partir de ce point, le talus se redresse à deux de base pour un de hauteur.

Les cavaliers déposés par les dragues à petit couloir qui creusèrent les chenaux latéraux, avaient une forme assez irrégulière. Les couloirs de 25 mètres, dont la longueur était limitée par la faible hauteur des dragues, avaient déposé des déblais en dedans du profil normal. Il a fallu remanier les terres qui faisaient ainsi saillie sur le profil. Nous nous en sommes servis, en les plaçant sur le dessus des cavaliers, pour former un fort bourrelet derrière lequel les couloirs de 70 mètres versent leurs déblais sans qu'ils puissent revenir dans le canal.

La plage inclinée à dix pour un résiste très-bien au batillage considérable qui se produit au passage des canots à vapeur marchant à grande vitesse dans les chenaux latéraux dont la section est très-petite par rapport à celle de ces canots.

Entre les lacs Ballah et Timsah se trouve le plateau élevé dit du Seuil

d'El-Guisr. M. Couvreux avait été chargé d'élargir la tranchée ouverte, il y a quelques années, par les ouvriers fournis par le gouvernement égyptien, et de la creuser jusqu'au niveau de la mer.

Ce travail a été terminé vers la fin de l'année dernière.

Nous avons aussitôt, au moyen d'une des anciennes petites dragues de la Compagnie, munie d'un couloir de 25 mètres et versant sur le fond de la tranchée, élargi par place la rigole. Nous avons ainsi obtenu, dans la traversée du Seuil, cinq bassins ayant une cinquantaine de mètres de long sur trente de large. Dans ces bassins sont venues se placer de grandes dragues qui versent leurs déblais dans des gabares à clapets et creusent à toute largeur la tranchée sur 3m.50 de profondeur. Ces gabares vont se vider dans le lac Timsah.

D'autres dragues, faisant une seconde, puis une troisième, puis une quatrième passe, amènent le canal à fond.

Actuellement, le Seuil est ouvert à toute largeur sur presque toute sa longueur, et l'approfondissement marche avec la rapidité nécessaire pour que cette partie du canal soit terminée en même temps que le reste.

Le terrain se compose, pour la plus grande partie, de sable fin plus ou moins aggloméré et qui présente à la drague une assez grande résistance. Il tient sous l'eau à une inclinaison de moins de deux de base sur un de hauteur. Par places, ces sables agglomérés prennent presque la consistance du grès tendre. Sur quelques points encore, nous trouvons des lentilles assez étendues de calcaire tendre, ayant jusqu'à 1m.50 et même 2 mètres de puissance.

Nous trouvons aussi des argiles dures, collant aux godets. Nulle part, jusqu'à présent, ne se sont rencontrées de roches présentant au dragage de bien sérieuses difficultés, et les nombreux sondages à la cuiller qui ont été faits nous donnent l'assurance que si nous en trouvons dans la suite des travaux, ce ne peut être qu'en rognons de très-faibles dimensions.

La dureté assez grande des terrains du Seuil a l'avantage d'assurer la tenue de la cuvette du canal, elle a en revanche réduit le rendement des dragues au-dessous de nos prévisions. Nous avons heureusement pu, en substituant sur d'autres points les travaux à la brouette ou au wagon au creusement à la drague, augmenter le nombre des appareils primitivement réservés au Seuil, et compenser ainsi, au point de vue de la rapidité d'exécution, la diminution du rendement de chacun d'eux.

Disons de suite que nous sommes maintenant suffisamment renseignés sur les difficultés d'extraction, et l'étendue des terrains durs, pour avoir pu prendre sur nous pour une somme à forfait, relativement faible, la responsabilité des retards et des excédants de dépenses résultant de ces obstacles.

A travers le lac Timsah, le canal se creuse rapidement au moyen de

dragues desservies par des porteurs. Ces porteurs vont se vider vers les bords du lac dans les fonds de 4 à 5 mètres. Nous réservons ainsi les grandes profondeurs de 6, 7 et 8 mètres qui feront un port naturel intérieur de plus de 60 hectares.

Le gouvernement égyptien a depuis plusieurs mois relié Ismaïlia, situé, comme vous le savez, sur le lac Timsah, au réseau du chemin de fer du Delta et à Suez. Ce chemin de fer suit partout les bords du canal d'eau douce.

Les terrains qu'il traverse sont, grâce à ce canal, maintenant cultivables. Il ne dépend plus que du gouvernement égyptien de transformer cette partie du désert en une riche province. Les Bédouins se chargeraient de la cultiver promptement, et s'y fixeraient avec empressement, comme ils l'ont fait quand la Compagnie du canal était propriétaire du domaine du Ouady.

Avant ce nouveau chemin de fer, les voyageurs et les marchandises des Indes passaient par le Caire. Entre cette ville et Suez, le chemin de fer traversait le désert le plus aride, et les réservoirs auxquels s'alimentaient en route les machines-locomotives, étaient alimentés eux-mêmes par des trains d'eau douce qu'on amenait du Caire.

Le transit se fait maintenant d'Alexandrie à Suez par Zagasig et Ismaïlia.

A la traversée du plateau du Serapéum, le canal est creusé au moyen de dragues flottant, comme vous savez, sur l'eau douce, à un niveau supérieur de 6 mètres au niveau de la mer. Les déblais de ces dragues sont portés par des gabares à clapets latéraux dans les lacs d'eau douce qu'ont formés les dépressions du terrain.

Nous avions avant l'introduction de l'eau douce relevé avec beaucoup de soins la forme de ces dépressions, et calculé leur capacité. La quantité de déblais qu'ils pouvaient contenir dépendait beaucoup des soins que nos pilotes apporteraient à vider les gabares sur toute la surface, de façon à relever le fond, suivant un plan horizontal et sur toute la hauteur que permettrait le tirant d'eau des gabares.

Les instructions que j'avais données étaient les suivantes :

Une balise était plantée sur le bord du bassin. La première gabare chargée se dirigeait droit sur cet amer et s'avançait jusqu'à échouer. Comme naturellement le fond de la dépression se relevait vers le bord. la gabare s'échouait par l'avant. — On ouvrait une ou deux paires de portes de l'avant et les puits correspondants se vidaient. La gabare ainsi allégée de l'avant flottait de nouveau ; — on l'avançait jusqu'à ce qu'elle touchât encore. L'ouverture d'autres portes la soulevait. On l'avançait encore et on vidait enfin les derniers puits, les puits de l'arrière.

La gabare suivante faisait la même chose, en se plaçant à côté des déblais laissés par la précédente. Nous remplissions ainsi le pourtour des bassins, presque jusqu'au niveau correspondant au faible tirant d'eau

des gabares vides; puis on remplissait une seconde zone contiguë à la première, et ainsi de suite.

Chacun des bassins était sous la surveillance d'un employé chargé de diriger les pilotes, et que nous intéressions fortement à la quantité de déblais qu'il parviendrait à loger.

Le soin apporté a été tel que les deux bassins dont nous avions en commençant pensé nous contenter, ont reçu beaucoup plus que le cube sur lequel nous avions compté, en laissant une marge suffisante aux irrégularités du travail.

Le travail à l'eau douce avait deux grands avantages que voici : la section du canal est très-évasée par le haut, puisque les talus sont à 2 de base sur 1 de hauteur; par conséquent, si le plan d'eau a au niveau de la mer 60 mètres, il en a presque 100 au niveau de l'eau douce. Cette grande largeur ajoute beaucoup à la facilité de manœuvre des gabares qui bien qu'ayant 33 mètres de long, gouvernent assez bien, grâce à leurs deux hélices, pour pouvoir se ralentir et, sans prendre d'amarres, virer de bord dans les 100 mètres. De plus, pour éviter les collisions pendant la nuit, nous avons pu, sur ce large chenal, prescrire aux gabares allant dans un sens, de se tenir dans la moitié du canal rapprochées d'une rive, tandis que les autres se tiennent facilement dans l'autre moitié.

Le second avantage est que, tant que les dragues flottent au niveau de l'eau douce, les déblais pour aller se vider dans les dépressions du plateau n'ont que de faibles distances à parcourir. Quand le niveau de l'eau descendra à celui de la mer, les dépressions seront à sec, et les déblais devront être conduits dans le lac Timsah.

L'heureux succès de l'emploi des deux premières dépressions nous a décidés à augmenter le dragage à l'eau donce, et pour cela à utiliser une troisième dépression que traversait également le tracé du canal. Cette dépression, située vers le sud du plateau, s'ouvrait latéralement au tracé du canal, vers le bassin des lacs Amers. Nous avons dû la clore par une levée qui n'a pas moins de 1 kilomètre de long, et qui supporte jusqu'à 5 mètres d'eau. Cette digue a été faite sur le bord même du canal maritime, avec les déblais du canal que nous commencions pour cela à la brouette, puis nous avons ensuite coupé le barrage laissé entre la partie nord du canal et la dépression.

Nous avons pu ainsi allonger de deux kilomètres la partie du canal commencée à l'eau douce, l'étendre jusqu'au bord du plateau du Séraéum, vers les lacs Amers, et ne laisser à faire, à la brouette, que la portion qui de ce point s'étend à travers des terrains qui s'abaissent rapidement, jusqu'aux grands fonds des lacs Amers.

Le fond de cette troisième dépression est assez bas, son étendue est assez grande pour que nous puissions y loger non-seulement les déblais de la partie additionnelle du canal à faire à l'eau douce, mais encore ceux provenant du creusement du canal sur la totalité de 7 kilomètres, non plus

à la profondeur de 8 mètres en contre-bas de l'eau douce, ou 2 mètres en contre-bas de la mer, mais à la profondeur de 12 mètres au-dessous de l'eau douce, de 6 mètres en contre-bas de la mer. Il ne restera plus alors aux dragues flottant sur l'eau de mer qu'à creuser les deux derniers mètres du fond du canal, et par conséquent à enlever un cube très-faible.

Pour atteindre à la profondeur de 12 mètres au-dessous de l'eau douce. nous avons d'abord modifié nos dragues, pour qu'elles puissent laisser un fond de 10 et 11 mètres. Au lieu d'allonger les élindes ou échelles à godets, nous avons descendu d'une quantité suffisante le point d'attache supérieur de ces échelles.

Puis, dès que les dragues ainsi modifiées auront creusé à toute la profondeur qu'elles peuvent atteindre, nous fermerons le branchement qui amène sur le plateau l'eau du canal d'eau douce. Nous laisserons descendre de $1^m.50$ le niveau sur lequel flottent nos dragues, et nous le maintiendrons par une petite prise d'eau conservée dans le barrage. Les dragues ayant ainsi descendu de $1^m.50$, enlèveront une épaisseur correspondante dans le fond du canal.

La capacité de la troisième dépression sera, il est vrai, réduite par cet abaissement du niveau d'eau, mais outre que cette capacité est considérable, comme nous aurons, fidèles à notre méthode, d'abord rempli les parties voisines des bords, la partie centrale qui est la plus profonde sera conservée pour le moment où le niveau de l'eau sera abaissé, et elle pourrait contenir encore plus de déblais que nous n'en avons à y verser.

Aux dernières nouvelles, le Sérapéum était creusé presque partout à 10 mètres en contre-bas de l'eau douce; le premier abaissement du niveau devait être effectué ces jours-ci. Six semaines ou deux mois plus tard, les dragues auront fini leur dernière passe.

Nous couperons alors les deux barrages qui contiennent l'eau douce, celui qui, au nord du plateau, sépare cette partie du canal des 115 autres kilomètres aboutissant à la Méditerranée, et celui qui, au sud, la sépare de la portion creusée à la brouette jusque dans les fonds des lacs Amers. L'eau de la Méditerranée sera alors admise dans les lacs Amers.

Vous savez que ce qu'on appelle les lacs Amers est une énorme dépression dont la forme peut être comparée à celle d'un violon, dont le grand lac serait le corps, le petit lac le manche. Le grand lac a une profondeur d'une dizaine de mètres, le petit lac de 4 à 5 mètres à son thalweg.

Le canal traverse le petit lac suivant sa longueur, et les bâtiments, en débouchant dans le grand lac devront, pour gagner l'entrée du Sérapéum, traverser cette petite mer aussi suivant sa plus grande dimension.

La longueur du parcours sera d'environ 20 kilomètres dans le petit lac, et aussi de 20 kilomètres dans le grand.

La capacité totale de ce bassin a été calculée de nouveau avec beaucoup de soins; elle est de 1443 millions de mètres cubes.

Pour apprécier la quantité totale d'eau à introduire, il faut ajouter au chiffre indiqué ci-dessus le volume qui sera absorbé par l'imbibition des terrains et celui qu'emportera l'évaporation pendant le remplissage.

Pour apprécier le premier, nous avons supposé que le terrain s'imbiberait jusqu'à la couche où les sondages font actuellement reconnaître la présence de l'eau, c'est-à-dire vers 9 mètres au-dessous du niveau moyen de la mer, et qu'il absorberait un quart de son volume.

Ces deux hypothèses évidemment exagérées, puisque le sol est argileux sur presque toute l'étendue du bassin, conduisent au chiffre de 125 millions de mètres cubes.

Quant à l'évaporation, nous avons admis que, comme le remplissage se ferait du mois de février au mois d'octobre, elle serait de 1 centimètre par jour. Là encore notre supposition est exagérée, parce que si on a constaté quelquefois, sous le climat si chaud et si sec de l'Égypte, une évaporation plus rapide, ce n'était que sur de petites surfaces, sur lesquelles l'air se renouvelait sans cesse et était partout à son maximum de siccité.

Il n'en est plus de même pour une énorme étendue comme celle des lacs Amers. L'air sec qui arrive se sature promptement sur le bord, puis traverse le reste de la surface après avoir perdu sa grande puissance d'évaporation.

En tenant compte de la durée du remplissage, de la surface incessamment croissante à mesure que le niveau de l'eau s'élèvera, nous sommes arrivés à 330 millions de mètres cubes.

Nous aurons donc à introduire en totalité et au maximum 1900 millions de mètres cubes, dont la plus grande partie viendra de la Méditerranée.

Voici comment nous avons déterminé la quantité que cette mer fournira :

Au 1er février prochain, époque à laquelle l'eau sera introduite dans les lacs, le canal aura une section variable avec l'état d'avancement des différentes parties.

Cet état d'avancement est facile à connaître à l'avance, d'après la marche de nos travaux. Nous en pouvons déduire le débit que dès le 1er février il permettrait avec une vitesse d'écoulement qui, dans les parties étranglées, ne dépasserait pas 30 centimètres par seconde. Mais cette vitesse ne peut s'obtenir qu'avec un certain abaissement du niveau de l'eau, au débouché dans les lacs Amers.

Le calcul a montré que cette dénivellation irait jusqu'à $1^m.10$ auprès des lacs Amers, à $0^m.87$ dans le Seuil, c'est-à-dire qu'en ces points le niveau de l'eau serait inférieur d'autant à celui de la Méditerranée.

Un tel abaissement réduirait notablement la largeur du plan d'eau, en raison de la faible inclinaison des berges du canal, et par suite présenterait de grandes difficultés au virage de bord des porteurs de déblai. Nous réduirons donc la quantité d'eau à emprunter à la Méditerranée, et nous prendrons le complément à la mer Rouge, que nous commencerons à introduire vers le 1er juillet.

Comme la section du canal, et par conséquent le débit total, iront en croissant avec l'avancement des travaux depuis le 1er février jusqu'au 1er octobre prochain, date probable de l'achèvement du creusement, il est nécessaire d'établir pour l'introduction de l'eau un ouvrage à vannes qui pourra à volonté se fermer entièrement, ou laisser passer jusqu'à 120 mètres cubes par seconde.

J'aurai l'année prochaine l'honneur de vous donner la description de cet ouvrage, et de vous dire comment nous profitons de la disposition des lieux pour le faire simple et économique, pour éviter des travaux considérables de défense à l'aval contre l'érosion que produirait le passage d'une aussi grande masse d'eau.

Le banc de sel qui recouvre le fond du grand lac, et dont la surface presque complétement horizontale est à $7^m.50$ et 8 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée, est très-soluble dans l'eau de mer, ainsi que l'ont constaté des expériences faites dans des circonstances semblables à celles qui se présenteront en réalité.

Sur toute la traversée du petit lac, le canal sera, dans quelques semaines, complétement terminé. Ce travail aura été fait à la brouette.

Le plateau de Chalouf, qui sur deux points contenait du rocher, a été creusé entièrement à sec par des chantiers au wagon. Le canal y est terminé sur plusieurs kilomètres. Il le sera au mois d'avril sur toute la traversée du plateau. Nous aurons sur ce point extrait environ 35,000 mètres cubes de rocher.

Dans la plaine qui s'étend sur 14 kilomètres du plateau de Chalouf jusqu'à la mer Rouge, des sondages ont fait reconnaître la présence, sur plusieurs kilomètres, de roches tendres en bancs d'assez faible épaisseur et qui n'auraient sans doute pas été inattaquables à la drague, mais qui en auraient notablement réduit le rendement.

Il a été décidé que les chantiers à sec, qui commencent aux grands fonds des lacs Amers, seraient prolongés jusqu'à 4 kilomètres de la mer Rouge. Ce travail marche régulièrement; le cube qui s'y fait journellement se maintiendra facilement, et nous donne l'assurance que le canal sera terminé en ce point le 1er juillet prochain.

Sur les quatre kilomètres qui séparent ces chantiers à sec de la laisse de haute mer, trois dragues à long couloir, deux dragues desservies par

des élévateurs flottent, comme nous vous le disions l'année dernière, à 2 mètres environ au-dessus du niveau moyen de la mer Rouge.

L'eau est maintenue à cette hauteur au moyen d'un emprunt fait au canal d'eau douce. Un barrage de faible épaisseur, et situé à la laisse de haute mer, sépare cette portion du canal du chenal que quatre dragues, desservies par des porteurs, et une drague à long couloir, creusent jusqu'au point où, dans la rade, on rencontre les fonds de 8 mètres au-dessous des basses mers de vives eaux.

A l'exception de terrains assez durs que nous rencontrons auprès de la laisse de haute mer, tout le chenal se trouve dans des terrains faciles. Aussi le travail y marche-t-il rapidement, et nous avons pu, il y a quelques semaines, retirer de cette section deux dragues que nous avons envoyées, l'une au Sérapéum, et l'autre dans le Seuil d'El-Guisr.

Nous avons rencontré, vers l'extrémité du chenal, les carcasses de deux bâtiments coulés en rade, dont nos dragues conduites avec précaution ont facilement et sans grandes avaries dépecé les coques.

Sur toute l'étendue du canal, à part la rencontre en quelques points de parties de rocher plus ou moins dur, et dont l'enlèvement est compris dans le forfait dont je vous parlais en commençant, aucun incident ne s'est produit qui ait augmenté les difficultés d'exécution du canal, qui ait fait désirer une variante dans le tracé.

Je dois toutefois appeler votre attention sur un fait observé à Port-Saïd :

Vous savez que le chenal devait, d'après les projets, être creusé à 50 mètres environ à l'est de la jetée Ouest qui s'avance en mer à peu près normalement au rivage.

Nous l'avions l'année dernière, pendant la belle saison, creusé à 6 et 7 mètres de profondeur. Ce chenal était protégé par la jetée déjà poussée jusqu'aux fonds de 7 mètres.

Au commencement de cette année, on remarqua qu'entre le chenal et la jetée, il se formait un bourrelet de sable, s'appuyant d'un côté sur la jetée, et de l'autre s'abaissant en pente douce vers le chenal. A l'ouest de la jetée, au contraire, le fond ne se relevait pas, ou ne se relevait que d'une quantité insensible.

Auprès de la plage, c'est-à-dire dans les petites profondeurs, le bourrelet s'était déjà élevé au niveau de l'eau; il était d'autant moins fort qu'au point observé il y avait eu d'abord une plus grande profondeur d'eau, que la jetée était de construction plus récente. Par les fonds de 4 et 5 mètres, le talus du bourrelet vers l'est s'étendait jusqu'au chenal qu'il ensablait peu à peu.

Il est facile d'expliquer la formation de ce bourrelet :

Il règne toujours devant Port-Saïd un courant parallèle au littoral et dirigé de l'ouest vers l'est. Ce courant est plus ou moins fort suivant la direction et la force du vent, il se renverse rarement.

La plus grande partie de ce courant est arrêtée par la jetée et dépose le sable qui avance peu à peu la plage à l'ouest. Une petite partie la traverse en passant entre les gros blocs qui la composent et qui ont été jetés pêle-mêle les uns sur les autres. Cette eau animée d'une certaine vitesse, entraîne avec elle du sable qu'elle dépose aussitôt qu'après avoir traversé la jetée elle perd sa vitesse. C'est ainsi que se forme le bourrelet qui de mois en mois s'élève jusqu'au niveau de l'eau et finit par empêcher tout passage ultérieur du sable.

Il est évident qu'il faut alors placer le chenal à une plus grande distance de la jetée que n'arrive le pied du talus extérieur du bourrelet, quand celui-ci va s'élever jusqu'au niveau de l'eau.

C'est ce qui a été fait, en admettant que l'inclinaison du talus pourrait aller jusqu'à 25 de base pour 1 de hauteur. Ainsi, dans les fonds de 8 mètres le bord du chenal est à 200 mètres de la jetée.

Cette modification du projet primitif n'a entraîné qu'une perte insignifiante du travail exécuté, et le chenal déplacé reste aussi commode et facile que celui du projet primitif.

Je vous disais que notre production mensuelle a atteint et dépassé 2 millions de mètres cubes. Ces deux millions se répartissent à peu près ainsi : 1,500,000 environ sont enlevés par les dragues, 500,000 par les chantiers à la brouette ou au wagon.

Chacune de nos soixante dragues fait donc par mois, en moyenne, 25,000 mètres cubes. Mais le rendement varie beaucoup avec la nature des appareils qui desservent les dragues.

Nos dragues à long couloir, celles du moins qui sont dans un terrain facile et coulant, comme les argiles molles, atteignent et dépassent l'énorme chiffre de 70,000 mètres cubes ; l'une d'elles a même fait 100,000 mètres cubes le mois dernier.

Le rendement moyen de nos vingt-deux dragues à couloir est de 36,000 mètres cubes ; celui des dragues à porteurs ou à gabares atteint 25,000 mètres cubes.

Enfin, les dragues desservies par des élévateurs donnent une moyenne de 15,000 mètres cubes, et un maximum de 20,000 mètres cubes.

Il faut noter que toutes ces dragues ont des machines de même force et des chaudières de même surface de chauffe.

La consommation moyenne de charbon est de 5k.6 par mètre cube pour l'ensemble de l'entreprise ; elle est de 6k.2 pour les dragues à porteurs ou gabares, de 6k.00 pour les dragues à élévateurs ; elle est d'un peu plus de 3k.20 pour les dragues à couloirs.

Le travail de ces différentes dragues n'a rien signalé de nouveau. L'entretien est arrivé depuis plusieurs mois à l'état normal, et l'expérience nous a appris que si les coques, les charpentes, les machines, les

chaudières n'ont donné lieu qu'à des frais d'entretien insignifiants, il n'en est plus de même pour l'appareil dragueur; et, par là il faut entendre l'ensemble des pièces depuis et y compris les essieux coudés des machines jusqu'aux godets.

Et cependant il nous semblait en commençant avoir exagéré les dimensions de toutes ces pièces. Mais l'irrégularité de la résistance fait subir à tous les organes en mouvement des chocs qui ne tardent pas à les disloquer, à les rompre. Après quelques mois de marche, les engrenages, les tourteaux ébranlent leurs clavetages, les clavettes sans cesse renforcées à grands coups de marteau fendent les moyeux, puis les essieux se cassent.

Effrayés, il y a un an, de la rapidité de l'usure des maillons des chaînes dragueuses, de la dislocation des attaches des maillons aux godets, nous avons pris le grand parti de refondre les 2,800 godets qui arment nos dragues.

Cette modification était urgente, nos ateliers ne pouvaient suffire à l'entretien. Plusieurs dragues étaient arrêtées faute de godets. Il a donc fallu en quelques mois faire sur cette énorme quantité de godets un travail dont nous vous donnerons une idée en vous disant que la dépense totale a dépassé deux millions de francs.

Après de grands et coûteux efforts, nous étions parvenus à transformer jusqu'à quinze godets par jour, ce qui exigeait le perçage de plusieurs milliers de trous, la pose de plus de 2,000 rivets.

Nous sommes enfin sortis de cette période de transformation, l'expérience nous a indiqué plus exactement le nombre de pièces de rechange de chaque espèce dont nos divers magasins doivent être pourvus. Les ajusteurs, les monteurs ont appris à faire mieux et plus vite. Aussi le fonctionnement de nos divers appareils continue-t-il à s'améliorer; et nous pouvons compter que, pendant bien des mois encore, l'énorme rendement de plus de 2 millions de mètres cubes se maintiendra.

On se fait difficilement une idée de l'importance de ce travail, de la grandeur de ces chantiers. Les chiffres suivants vous frapperont certainement.

Nous consommons par mois 26.000 kilog. d'huile, 10.000 tonnes de charbon.

Nos feuilles de paie et de marchandage portent plus de 22,000 hommes.

La valeur des objets et pièces de rechange de toute sorte, nécessaires à l'entretien de nos chantiers, atteint 500,000 fr. par mois; — leur tonnage mensuel est d'environ 1000 tonneaux maritimes.

Enfin, si on versait sur les boulevards nos déblais d'un mois, on les remplirait jusqu'à la hauteur du faîte des maisons sur plus de 3 kilomètres, c'est-à-dire depuis la Madeleine jusqu'au Château-d'Eau. Ou pour

employer une comparaison pour vous, Messieurs, peut-être plus frappante : cette quantité de déblais équivaut à celle de 60 à 70 kilomètres de chemin de fer à deux voies en pays moyennement accidentés.

Grâce à cette énorme production, nous voyons de mois en mois se confirmer notre espoir de tenir notre engagement de livrer le canal le 1er octobre prochain, dans dix mois.

Dans cette prévision, la Compagnie après avoir fait étudier par ses services, les diverses questions se rattachant à l'exploitation, en a soumis les principales à une commission d'ingénieurs et de marins. Des réponses de cette commission, il résulte que les dimensions données au canal permettront une circulation facile et rapide de jour et de nuit.

Les bateaux à vapeur pourront traverser d'une mer à l'autre en 16 ou 18 heures sans que la vitesse à laquelle pour cela ils devront marcher compromette la tenue des berges. De nombreux garages, espacés d'environ 11 kilomètres, permettront, au moins au commencement de l'exploitation, que le croisement des navires marchant en sens contraire ou se dépassant, se fasse devant ces garages.

En attendant qu'une Commission, nommée par les principales nations maritimes, propose et ait fait adopter une méthode uniforme de jaugeage des navires, la Compagnie est engagée à prendre pour base de perception des droits les jaugeages portés sur les papiers de bord.

Le rapport de la Commission va servir de base à l'étude du règlement de navigation, pour lequel existent déjà du reste des précédents, ceux notamment du canal du Nord-Hollande, du Grand-Calédonien. Certaines dispositions pourront peut-être aussi être empruntées au règlement de la navigation du bas Danube, règlement établi par une Commission européenne.

En même temps que s'étudie cette question, l'exécution du canal nous montre tous les jours que son entretien sera facile et peu onéreux, et n'emploiera qu'une très-faible partie du matériel qui aura servi à le creuser. Il est facile de se rendre compte de l'exactitude de ces deux assertions.

L'entretien, en effet, consistera dans l'enlèvement des terres qui se seront déposées sur le plafond.

Ces dépôts ne peuvent venir que de trois provenances : la mer, les apports du vent, les éboulements des talus corrodés par le batillage.

Examinons-les successivement :

Quels sont les apports de la mer?

L'eau de la rade de Suez est toujours claire, même pendant les rares coups de vents qui y soufflent. Elle n'amènera donc aucun apport appréciable dans la portion du canal au sud des lacs Amers, la seule où les marées se feront sentir et produiront des courants alternatifs.

La Méditerranée n'a que des variations de niveau presque inappréciables. Son niveau moyen est exactement le même que celui de la mer Rouge.

Il n'entrera donc de cette mer dans le canal que la petite quantité d'eau nécessaire pour compenser la partie de l'évaporation à laquelle la mer Rouge n'aura pas paré, et aussi celle qu'y amènera peut-être le très-petit courant que la prédominance des vents du nord pourra y établir dans le même sens.

L'eau dela Méditerranée, agitée par le vent sur un fond de sable fin légèrement limoneux, est souvent trouble le long du bord; mais les matières qu'elle contient se déposeront dans l'avant-port, où les eaux sont tranquilles et où la section, extrêmement grande par rapport à celle du canal, réduira presque à zéro la vitesse de l'eau entrant, et comme il ne passera qu'une petite quantité d'eau, ces dépôts seront eux-mêmes peu abondants.

Il n'y a donc pas lieu de s'inquiéter des apports de la mer. Voyons si ceux du vent sont aussi à redouter qu'on l'a dit et écrit.

Sur les 160 kilomètres que comporte la longueur du trajet de Port-Saïd à Suez, les lacs Amers en font quarante sur lesquels le vent ne peut rien apporter.

Entre les lacs Amers et la mer Rouge, sur une longueur de 20 kilomètres environ, les terrains traversés sont presque exclusivement de l'argile dure sur laquelle le vent n'a pas d'action. La poussière qu'il en détache ne s'est déposée dans les fouilles, depuis trois ans que nous avons attaqué cette partie du canal, qu'en quantité tellement insignifiante, que nous n'avons pu en demander la constatation à la Compagnie. Le canal des Pharaons, au reste, est là comme un témoin de la solidité du sol.

Sur 65 kilomètres encore le canal traverse les lacs Mensaleh et Ballah. Le vent ne peut faire tomber dans le canal que ce qu'il détachera des cavaliers. Mais outre que le vent qui tend à aller directement de la Méditerranée vers la mer Rouge, de la mer froide vers la mer chaude, n'est presque jamais traversier au canal, les dépôts sont pour la plus grande partie argileux, fortement salins et hygrométriques, par conséquent presque inattaquables au vent. A la traversée de quelques monticules de sables, dans le lac Ballah, le vent amène quelques apports. Là encore, ils sont assez faibles pour que nous n'ayons pas pu en apprécier l'importance, et nous faire rembourser par la Compagnie les frais d'enlèvement.

Restent environ 30 kilomètres qui, traversant les plateaux sablonneux du Sérapéum et du Seuil, sont plus exposés aux ensablements.

Nous avons pour en apprécier l'importance des renseignements précis.

A la traversée du Sérapéum, les quantités de sables apportées dans

nos fouilles ont été pendant deux ans mesurées contradictoirement entre la Compagnie et nous. Depuis, pour éviter ces incessants et minutieux mesurages, nous avons, comme entrepreneurs, consenti, pour la durée de l'exécution, à un abonnement qui correspondra à environ 300,000 mètres cubes par an, pour la partie comprise entre le lac Timsah et les lacs Amers.

Il est à noter que l'eau du canal d'eau douce s'infiltre peu à peu dans toutes les parties déprimées du plateau. Cette humidité a fait germer les graines que le vent apporte. La Compagnie, en outre, a fait planter dans tous ces bas-fonds des saules, des tamaris qui poussent rapidement. Dans quelques années, ces arbres auront grandi, ils domineront les parties élevées du plateau, et le vent qu'ils forceront ainsi à s'élever de terre ne rasera plus le sable et n'en jettera plus dans le canal que des quantités moindres.

Quant au plateau du Seuil d'El-Guisr, les terrains en sont beaucoup moins meubles que ceux du Sérapéum. Il est probable que le volume annuel des apports n'y dépassera pas 100,000 mètres cubes. Si à ces deux chiffres nous ajoutons 100,000 mètres cubes pour les autres parties du canal, nous arriverons à évaluer à 500,000 mètres cubes le volume total des sables jetés en une année par le vent dans le canal; ce serait moins du quart de ce que nous enlevons maintenant en un mois.

Rapportée à la longueur totale du canal, cette quantité revient à environ 3 mètres cubes par mètre courant.

A-t-on beaucoup moins que cela à enlever dans le curage des grands canaux de France et d'Angleterre ?

Reste l'action du batillage. Le passage des bateaux, le mouvement qu'il donnera à l'eau aura nécessairement pour effet de dégrader les talus mouillés du canal en en adoucissant l'inclinaison.

Cet effet dépendra nécessairement de la dimension des bateaux, de la vitesse avec laquelle ils passeront. Il semble donc que la Compagnie aura avantage à réduire cette vitesse, mais elle ne doit pas oublier, qu'appelée à desservir d'énormes intérêts, elle ne sera pas libre de ne consulter que sa convenance. C'est ainsi que les chemins de fer sont obligés, au grand détriment de leurs voies, de leur matériel, de conduire leurs trains de grand parcours à toute la vitesse compatible avec une sécurité suffisante.

Pour le canal, du reste, l'influence fâcheuse d'une grande vitesse est peu importante, puisque la dégradation des talus ayant pour conséquence une diminution de leur inclinaison ira aussi en diminuant.

Examinons un peu ce qui se passera sur les différentes parties du canal.

Et d'abord rappelons que le grand lac Amer ayant, sur plusieurs kilomètres de largeur et sur près de 20 de longueur, plus de 8 mètres de profondeur, il n'y a que 140 kilomètres à entretenir.

De ces 110 kilomètres, 100 environ, soit plus des deux tiers, ont la grande largeur, c'est-à-dire actuellement 100 mètres au plan d'eau, ou se trouvent dans le petit lac.

Dans la grande section, le batillage n'attaquera que faiblement la plage inclinée à dix de base pour un de hauteur. Les petites quantités de terre ou de sable arrachées par le flot se déposeront sur la risberme où elles pourront être laissées sans inconvénient, et la plage prenant une inclinaison de plus en plus douce deviendra de moins en moins attaquable.

Avec l'adoucissement de la plage, la largeur du plan d'eau croîtra, mais de plus en plus lentement, et il faudra bien du temps sans doute pour que l'eau atteigne le pied des cavaliers proprement dits. Il sera temps alors de recourir à quelques enrochements pour les défendre. Mais alors aussi le plan d'eau aura 114 mètres de large, et les ondes produites par les bateaux n'arriveront aux enrochements que très-affaiblies.

L'action du passage des navires ne se fera pas sentir seulement sur la plage, elle attaquera aussi les talus de la cuvette, en détachera des parties qui iront relever le plafond et qu'il faudra enlever.

Les quantités ainsi descendues varieront nécessairement avec la nature du terrain. Sur plus de 40 kilomètres, le canal est dans une argile sur laquelle le mouvement de l'eau aura très-peu d'effet.

Il ne faut pas d'ailleurs s'exagérer cet effet même sur le sable. N'oublions pas que le passage d'un bateau ne donne de mouvement à l'eau en un point quelconque que pendant un temps très-court. L'effet destructeur ne peut donc être que faible, et tel profil considéré ne peut être sensiblement altéré qu'après le passage d'un grand nombre de bateaux, qu'après un temps par conséquent assez long. Il sera donc toujours très-facile d'assurer l'entretien de ces dégradations.

Le cube total à enlever sera d'ailleurs toujours faible. En effet, l'expérience prouve que les talus de la cuvette tiennent, pendant l'exécution, à l'inclinaison moyenne de deux de base pour un de hauteur; il faudra bien des passages de bateaux, et plusieurs années, pour amener cette inclinaison à trois de base. Et cet adoucissement s'obtient par l'enlèvement seulement de 40 mètres cubes par mètre courant, de moins de quatre millions de mètres cubes pour les 100 kilomètres sur lesquels s'applique le profil large.

Dans les parties où, par raison d'économie, la Compagnie a conservé le plan d'eau à 60 mètres, c'est-à-dire dans les Seuils où le terrain est très-haut, l'élargissement du plan d'eau aurait des conséquences plus graves, puisqu'il entraînerait l'éboulement des talus fort élevés au-dessus de l'eau.

Dans ces parties dont la longueur totale n'atteint pas 40 kilomètres, la Compagnie devra, pendant les premières années au moins, réduire

la vitesse de marche des bateaux, et enrocher la ligne d'eau, au fur et à mesure, sur les points où elle verra le terrain s'attaquer. Ces enrochements d'ailleurs n'emploieront qu'une assez petite quantité de pierres, et les carrières du lac Timsah les fournissent à bon compte.

On voit donc que l'entretien du canal sera simple, facile et peu coûteux, et surtout qu'une partie importante de la dépense de cet entretien ne croîtra qu'avec le trafic, c'est-à-dire avec les recettes.

Il est intéressant d'ailleurs de remarquer que de la forme très-évasée de la section du canal, il résulte que s'il a fallu enlever 75 millions de mètres cubes pour obtenir un plafond de 22 mètres de large, il ne faudra pour le doubler en enlever que 24 millions.

Pour créer le canal à 22 mètres, il aura fallu creuser le canal d'eau douce, fonder des villes, construire un matériel de 60 millions de francs, dépenser en un mot près de 400 millions de francs. On le doublera facilement avec une dépense de 40 millions.

Et maintenant, le canal qui, tel qu'il est, offre toute facilité à une circulation active, dont l'entretien sera facile, dont l'élargissement, s'il devient utile, coûtera si peu; cette grande œuvre menée à fin, après tant de luttes, tant de difficultés vaincues, tant de persévérance et d'énergie dépensées, rendra-t-elle au commerce de grands services, ou n'aura-t-elle rapporté à ses auteurs qu'une gloire stérile?

Permettez-moi de vous présenter le plus brièvement possible quelques considérations à ce sujet.

Les évaluations les plus modérées, basées sur des documents officiels, portent à sept millions de tonnes au minimum, le tonnage des navires qui circulaient annuellement, il y a deux ou trois ans, entre l'Europe et les pays d'extrême Orient. L'expérience des années passées montre que ce tonnage augmente incessamment, comme partout au reste s'accroît l'importance des échanges.

Quelle portion de ce trafic le canal de Suez peut-il espérer détourner?

Si l'on ne tient compte que du raccourcissement que le canal apporte à la distance à parcourir, la réponse est facile.

Nous savons, en effet[1], que si on prend la distance par le Cap, de

1. *Distances à Bombay.*

	PAR LE CAP.	PAR LE CANAL.
Londres	100	52
Liverpool	99	51
Trieste	100	39
Marseille	95	40
New-York	104	63

Bombay à Londres ou à Liverpool, comme base de comparaison, et qu'on la représente par 100, la distance est pour Trieste de 100 aussi, pour Marseille de 95, pour New-York de 104.

Le passage par le canal de Suez réduit ces distances à 52 pour Londres et Liverpool, à 40 pour Marseille et Trieste, à 63 pour New-York.

Mais les voiliers pourront-ils toujours prendre cette route si courte? Les avis sont encore partagés sur cette question, et ils le seront jusqu'à ce que, le canal ouvert, de nombreux voiliers aient essayé la mer Rouge. Cependant il semble dès à présent admis que les voiliers trouveront toujours le vent favorable dans un sens pendant une partie de l'année, et dans l'autre pendant le reste.

Quoi qu'il en soit, on peut assurer que dans un temps plus ou moins long, la presque totalité du commerce de l'Europe avec l'extrême Orient devra passer par le canal de Suez. Nous en avons la preuve dans l'expérience de chaque jour.

Ne voit-on pas partout donner la préférence aux voies rapides quoique plus dispendieuses?

C'est pour cela que la marine à vapeur seule se développe, tandis que la marine à voiles de tous les pavillons voit son tonnage diminuer incessamment.

Dans la Méditerranée, par exemple, la voile ne transporte plus que les marchandises de moindre valeur comme le charbon et les céréales, et encore de ces marchandises mêmes une notable quantité est portée par vapeur.

Le commerce regagne l'augmentation du fret par l'économie du taux d'assurance, de l'intérêt de l'argent engagé pendant moins de temps pour chaque opération, par le plus grand nombre d'opérations faites en un temps donné avec le même capital, et surtout peut-être par la plus grande sécurité des marchés à courte échéance.

Jusqu'à présent les mers de l'Inde, l'Australie étaient inaccessibles aux bateaux à vapeur du commerce courant. La longueur du trajet, l'éloignement des relâches et du lieu d'approvisionnement du charbon étaient des obstacles insurmontables. Seules, les Compagnies à service régulier ayant double flotte dans la Méditerranée et dans les mers d'Asie pouvaient desservir l'extrême Orient.

Une fois le canal de Suez ouvert, quand les bateaux à vapeur pourront se ravitailler de charbon à bon marché, à Port-Saïd, à Aden, ils s'affréteront d'Europe pour l'extrême Orient, comme ils s'affrètent maintenant pour Alexandrie, pour la Syrie, la mer Noire.

Presque tous les produits qui s'échangent entre l'Europe et ces pays nouveaux, sont de ceux qui, dans les mers actuellement accessibles, prennent presque exclusivement la vapeur. La marine à voile va donc rencontrer sur cet énorme marché, où elle avait jusqu'à présent pres-

que le monopole, la rivale qui l'emporte sur elle dans tous les ports qui lui sont accessibles.

Mais entre tous ces ports la distance à parcourir est la même pour les vapeurs et les voiliers.

Quelle sera donc la supériorité de la navigation à vapeur si la voile rencontre quelques difficultés à passer par la mer Rouge, et si, par conséquent, pour la vapeur la distance est diminuée de moitié?

Des bâtiments de grand tonnage, complétement gréés pour marcher à la voile, portant des machines de petite puissance pour franchir les calmes, navigueront à bon marché. De Bombay à Londres, ils porteront les marchandises en quarante à cinquante jours, gagnant deux mois au moins sur les voiliers qui feront le tour par le Cap. La durée de leur voyage sera régulière, assurée; celle des voiliers est toujours incertaine.

Un commerçant dispose d'un million, je suppose; ce million lui coûte un intérêt annuel de 50,000 francs : avec ce capital, lui appartenant ou qu'il emprunte, il fait actuellement trois opérations, par exemple. Quand il pourra profiter du canal et de la navigation mixte, il en fera au moins six, doublant ainsi ses bénéfices et diminuant ses risques par la moindre durée des opérations.

Quel commerçant reculera devant le faible excédant du fret de vapeur?

Dès l'achèvement du canal de Suez, la marine commerciale à vapeur suffisante pour les mers où elle navigue actuellement, se trouvera tout à coup insuffisante devant l'addition de ce nouveau et énorme marché. Les chantiers de construction recevront une immense impulsion, la belle industrie des bâtiments à vapeur se verra appelée à faire de nouveaux progrès, et les capitaux ne lui manqueront pas.

Pendant les quarante dernières années, l'épargne de l'Europe a été employée à faire des chemins de fer, à améliorer toutes les voies de communication, à créer partout un immense outillage industriel. Maintenant les réseaux de chemins de fer utiles ou au moins indispensables sont presque achevés partout. C'est dans les opérations commerciales lointaines que l'épargne devra dorénavant chercher son emploi.

Que sera d'ailleurs pour les énormes capitaux, aujourd'hui improductifs, la construction de quelques centaines de bateaux à vapeur ou mixtes que va réclamer le commerce de l'extrême Orient? Mais quelle impulsion aussi ce commerce va-t-il recevoir quand, du jour au lendemain, ces deux parties du monde verront leur distance diminuer de moitié.

Les hardis auteurs du canal de Suez, fondateurs, administrateurs et actionnaires de la Compagnie peuvent être assurés de leurs succès, ils auront fait une œuvre profitable au monde entier et à eux-mêmes.

Et nous tous, Messieurs, qui avons embrassé la belle profession d'in-

génieur, nous l'aimerons davantage en pensant qu'elle nous met à même de rendre à l'humanité de tels services.

M. EUGÈNE FLACHAT. Je remercie M. Lavalley de son intéressante communication. La continuation du succès des moyens dus à son habile initiative est pour nous tous, sans exception, une bonne nouvelle, et une nouvelle prévue d'ailleurs. Si personne ne réclame la parole, je demanderai la permission d'adresser quelques questions à notre collègue.

J'éprouve quelque embarras à le faire. Cette nouvelle communication de M. Lavalley dépasse l'intérêt des précédentes; elle prouve qu'il a à peu près résolu toutes les difficultés devant lesquelles nous l'avions trouvé placé. Mais, en nous retraçant à grands traits les résultats qu'il a obtenus, peut-être ne nous a-t-il pas fait apprécier suffisamment tous les obstacles qu'il a eu à surmonter. A cet égard, plusieurs des points de la communication qu'il vient de résumer me paraissent justifier pleinement l'intérêt de cette réunion.

Le produit moyen des dragues n'a-t-il pas diminué en raison des profondeurs? Le remplissage des lacs Amers qui se présente comme une opération gigantesque, lui paraît facile, et il l'a abordé résolûment : les moyens qu'il emploie nous intéressent.

Les questions de direction et de vitesse des navires de grandes dimensions, des navires de 100 à 120 mètres de long, sur 12 à 13 de large, dans le canal dont la largeur au plafond sera de 22 mètres, se présentent aussi. Sans parler des questions nautiques et des questions d'entretien du canal qui, d'ailleurs, ne me paraissent que secondaires, je lui demanderai la permission de revenir sur quelques-unes de ces questions.

Il a obtenu, dit-il, des dragues un produit qui varie entre 20 et 25,000 mètres cubes pour les plus faibles, et qui pour les plus fortes atteint 70 et même 100,000 mètres cubes par mois, à des profondeurs de 4 à 6 mètres à ce jour. Je lui demanderai s'il a l'espoir d'obtenir d'aussi grandes quantités avec une profondeur plus considérable, c'est-à-dire avec des fonds de 6 à 8 mètres.

M. LAVALLEY. Depuis longtemps déjà nous draguons à des profondeurs considérables.

Les bassins de Port-Saïd, plusieurs parties du canal à la traversée des lacs Menzaleh et Ballah sont creusés à 8 mètres. Au Sérapéum, nos dragues flottant sur l'eau douce font plus de 10 mètres de fond; dans la rade de Suez, nos dragues creusent à plus de 10 mètres au-dessous du niveau de haute mer.

Nous ne trouvons nulle part que le dragage à ces grandes profondeurs ait diminué le rendement des dragues ; au contraire, ce rendement a été en croissant à mesure que nous avons dragué plus profondément. Ce résultat d'expérience s'explique assez facilement et est dû à plusieurs causes.

La première est que par suite de la disposition de nos dragues, nous ne pouvons augmenter ou diminuer la profondeur du dragage qu'en relevant ou en abaissant l'extrémité inférieure de l'élinde ou échelle à godets, fixée par son extrémité supérieure au bâti de la drague. Il en résulte que, quand on drague à de petites profondeurs, l'élinde est dans une position assez rapprochée de l'horizontale, tandis qu'elle est près de la verticale pour le dragage à de grandes profondeurs.

Comme les godets ont été taillés de façon que le bord soit horizontal quand l'élinde a la position correspondant au dragage à 6 mètres environ de profondeur, ce bord n'est plus horizontal quand on drague à une profondeur moins considérable, et alors, si le terrain dragué a une certaine fluidité, les godets ne se remplissent plus complètement.

Au fur et à mesure donc que la profondeur de dragage augmente, la capacité utile des godets augmente, et cela jusqu'à environ 6 mètres de profondeur ; elle diminue ensuite, mais très-peu, par suite des abaissements ultérieurs de l'extrémité de l'élinde.

Cette augmentation de rendement des dragues n'entraîne aucune augmentation, perceptible du moins, du travail dépensé. Nous ne trouvons pour le dragage à de grandes profondeurs ni accroissement de consommation de charbon, ni augmentation d'usure.

Le travail nécessaire pour vaincre les frottements, pour fouiller le sol, pour produire le déplacement de la drague est très-considérable et beaucoup plus grand que celui qu'absorbe l'élévation des déblais du fond de la fouille au point très-élevé d'où les godets versent leur contenu sur les déversoirs. L'augmentation de la profondeur de fouille ne peut donc influer que très-faiblement sur le travail total dépensé.

L'usure aussi reste constante. Toujours très-considérable à cause de la nature du travail des dragues, elle porte presque entièrement sur l'appareil dragueur : maillons, boulons d'articulation, tourteaux supérieurs et inférieurs, rouleaux d'élinde. Elle doit être à peu près proportionnelle aux efforts exercés sur les différentes parties frottantes, c'est-à-dire à la tension de la chaîne dragueuse. Cette tension, comme il est facile de le voir, est d'autant plus grande qu'on drague à de moindres profondeurs, parce qu'alors l'élinde étant plus près de l'horizontale la flèche de la chaînette que forme la partie de la chaîne dragueuse au-dessous de l'élinde est plus considérable. Le calcul montre que la partie de la tension qui provient de cette chaînette est beaucoup plus grande que celle due au travail de la drague et décroît beaucoup plus rapidement que cette dernière n'augmente quand l'élinde se redresse.

Tout ce que je viens de dire vous montre que dans la suite du travail le rendement de nos dragues ne sera pas diminué, et que la dépense ne sera pas augmentée parce que nous aurons à draguer partout à la profondeur maximum du canal.

A propos du dragage à grandes profondeurs voici quelles seraient, à mon avis, les meilleures dispositions à donner aux dragues pour faire varier la profondeur de la fouille.

Quand nous avons dû modifier nos dragues du Sérapéum pour draguer à 10 et 11 mètres au-dessous du niveau de l'eau douce, au lieu d'allonger les élindes nous avons préféré abaisser d'autant le point d'attache au bâti de la drague. Nous y trouvions l'avantage de ne pas alourdir les élindes déjà fort lourdes. Si nous avions à faire de nouvelles dragues, nous emploierions cette disposition pour faire varier la profondeur de fouille. Le point d'attache supérieur de l'élinde glisserait sur des contre-fiches de la charpente, parallèles à l'inclinaison normale de l'élinde. Les godets seraient alors toujours dans la position correspondant à leur maximum de capacité, et les élindes seraient beaucoup plus légères.

Il y a pour l'augmentation du rendement de nos dragues, depuis qu'elles creusent à des profondeurs plus grandes, un autre motif que celui que nous vous exposions tout à l'heure.

Quand nous faisions la première passe, nous ne creusions qu'à 2m.50 et à 3 mètres, parce que nous avions intérêt à avancer le plus rapidement possible, pour donner promptement au transport de nos appareils, de nos approvisionnements de toutes sortes, un large chenal d'une profondeur strictement suffisante. Alors quand la couche de terrain comprise dans cette profondeur était peu favorable au dragage, nous n'avions pas la ressource d'aller chercher, en creusant plus profondément, une couche dont le mélange avec la première facilitait ou le vidage des godets, ou la descente dans les couloirs. Cette ressource, nous l'utilisons fréquemment, au contraire, depuis que nous faisons les passes suivantes. Ainsi à la seconde passe, qui laisse ordinairement de 4 à 5 mètres, si nous rencontrons de l'argile collant aux godets, nous cherchons et nous trouvons presque toujours, en augmentant la profondeur de la fouille, soit de l'argile molle qui lubrifie en quelque sorte l'argile dure, ou du sable qui empêche son adhérence aux godets. Souvent aussi nous rencontrons des sables agglomérés que les dragues attaquent péniblement, quand elles ne peuvent les prendre par-dessous. Presque toujours à la seconde passe et aux suivantes, nous pouvons employer ce moyen de faciliter le travail.

En somme donc, je le répète, le dragage à grandes profondeurs marche aussi rapidement, et à égalité de difficultés de terrain, sans plus de dépenses qu'à des profondeurs moindres.

M. E. FLACHAT. L'intérêt que présente la réponse que vient de faire M. Lavalley, me justifie d'avoir posé la question; j'en aborde une seconde.

N'existe-t-il pas quelque incertitude sur le remplissage des lacs Amers?

Vous comptez les remplir avec l'eau de la Méditerranée; il n'en avait jamais été question. N'est-ce pas une détermination nouvelle? N'avait-on pas toujours pensé que c'était de la mer Rouge que devait venir l'eau?

M. LAVALLEY. Pardon, c'est au contraire de la Méditerranée seule que nous devions tirer le remplissage des lacs Amers. Ma première idée avait été de le commencer dans le courant de cette année, mais je me suis décidé à garder l'eau douce plus longtemps dans le Sérapéum, et à reculer le remplissage des lacs Amers, en me fondant sur ce que plus nous retarderions le remplissage, plus grande sera la section ouverte du canal entre la Méditerranée et la mer Rouge, et plus nous pourrons donner d'eau, de sorte que si je commence plus tard, le remplissage marchera plus vite, et alors je me suis décidé pour le 1er février. J'ai donc calculé la quantité d'eau que je pourrais donner avec la section qu'aura le canal au 1er février et une certaine vitesse d'écoulement qui ne compromettra pas les berges. J'ai aussi calculé la pente nécessaire pour produire cette vitesse d'écoulement, ou autrement la quantité dont le niveau de l'eau devrait être abaissé au-dessous de celui de la Méditerranée, tant au Sérapéum que sur les différents points du canal pour produire cette vitesse. Cet abaissement de niveau aurait gêné la manœuvre des porteurs de déblais dans le Seuil. J'ai trouvé que ce débit ne peut s'obtenir qu'à la condition de produire une dénivellation assez grande. Je me suis décidé à réduire le débit, à ne prendre à la Méditerranée qu'une quantité plus faible et insuffisante pour remplir les lacs Amers, et à trouver le supplément dans la mer Rouge, du côté de Suez.

Entre les lacs Amers et la mer Rouge, nous creusons le canal soit à sec, soit avec des dragues qui flottent à un niveau invariable. Afin d'éviter la gêne des variations de marée, nous avons laissé un barrage à la laisse de haute mer. Il semble donc que nous ne pourrions laisser entrer l'eau de la mer Rouge que lorsque le canal sera entièrement terminé entre cette mer et les lacs Amers. Une disposition des lieux nous permet de faire autrement. Un prolongement des lagunes vient atteindre le canal à 3 kilomètres environ de la mer, et en ce point le canal n'est séparé de la mer que par sa berge.

Pourvu donc qu'au 1er juillet prochain le canal soit terminé entre ce point et les lacs Amers, nous pourrons couper la berge devant le prolongement des lagunes et achever ensuite le canal au sud.

Un déversoir à poutrelles ou aiguilles permettra de régler le débit, de

façon que, quelle que soit la hauteur de la marée, la vitesse dans le canal soit constante et telle que les berges n'en soient pas attaquées.

M. E. FLACHAT. Vous avez admis qu'il fallait pour remplir les lacs Amers 1,900 millions de mètres cubes d'eau, en partie due au volume des lacs, en partie à l'évaporation. Quel temps durera ce remplissage, et à quelle vitesse l'écoulement devra-t-il avoir lieu?

M. LAVALLEY. Les 1,900 millions représentent la totalité de l'eau à introduire. L'écoulement aura lieu du 1er mars au 1er octobre, pour la Méditerranée, et du 1er juillet au 1er octobre pour la mer Rouge; pendant six mois de la Méditerranée, pendant trois mois de la mer Rouge, à raison de 40 mètres par seconde au commencement, et de 70 mètres à la fin; du côté de la Méditerranée, la vitesse d'écoulement sera d'environ $0^m.30$ par seconde.

J'ai fait le programme des travaux pour pouvoir commencer le remplissage au 1er février, mais je n'y suis pas obligé. S'il commence le 1er mars, nous arriverons à temps pour le 1er octobre. — Au 1er mars commencera le débit de 50 mètres à la seconde, mais ce débit augmentera à mesure que les étranglements diminueront.

M. E. FLACHAT. Vous admettez l'évaporation à raison de 10 millimètres d'épaisseur par vingt-quatre heures; l'évaporation calculée par les ingénieurs est de 5 millim., en France, par vingt-quatre heures.

Vous supposez alors que la différence de l'état hygrométrique de l'air devra doubler cette quantité? Est-ce suffisant?

M. LAVALLEY. La sécheresse de l'air est, en effet, beaucoup plus grande en Égypte qu'en France, mais il faut tenir compte des surfaces d'évaporation.

Les lacs Amers auront acquis au bout de peu de temps une surface énorme constituant une mer, et si l'évaporation est de 5 millimètres en France, sur des canaux étroits, il n'en sera plus de même quand il s'agira d'une surface énorme comme les lacs Amers. L'air arrivera très-sec sur les bords de ces lacs, il y enlèvera une très-grande quantité d'eau, puis il traversera le reste de l'étendue avec un pouvoir d'évaporation de plus en plus faible, et bientôt presque nul. Si on habitait une île au milieu des lacs Amers, on y aurait probablement une assez grande humidité.

J'ai causé de cette question avec plusieurs personnes qui s'en étaient occupées en Égypte, et toutes ont été d'accord pour reconnaître que mon hypothèse de 10 millimètres par vingt-quatre heures était exagérée.

M. E. FLACHAT. Dans cette supposition, quel sera le courant dans l'état normal du canal. Vous avez une branche de 95 kilomètres d'un côté, et une branche de 30 de l'autre, vous avez calculé que, pour le remplissage des lacs Amers, il vous faudra une vitesse de 30 centimètres par seconde. Évaluez-vous que la vitesse ordinaire nécessaire pour compenser l'évaporation sera de moitié ou d'un tiers?

M. LAVALLEY. Elle sera beaucoup moindre que cela, parce que, avec la section complète du canal, une vitesse de 30 centimètres à la seconde donne un débit de 120 mètres cubes.

Dans les parties larges, la section du canal est d'environ 400 mètres; dans les Seuils, elle n'est que de 310. De sorte que cette vitesse de $0^m.30$ donne environ 120 mètres cubes pour la grande section, mais n'en donne que 100 pour les petites. Mais 100 mètres à la seconde font près de 8 millions par jour : c'est un débit bien supérieur à l'évaporation des lacs Amers; le courant produit par l'évaporation sera imperceptible.

L'opération du remplissage de cet énorme bassin semble préoccuper, et cependant nous voyons que la grande section du canal qui y amènera l'eau fournit avec une vitesse très-faible un débit suffisant pour donner en peu de mois la totalité de l'eau nécessaire.

Est-ce l'importance de l'ouvrage à exécuter pour régler le débit qui doive inquiéter?

Si, au lieu d'avoir à verser 100 mètres cubes par seconde, nous n'avions à en verser que 10, personne ne trouverait difficile à faire l'ouvrage nécessaire; celui que nous construirons n'aura en somme que dix fois la longueur d'un déversoir débitant 10^{m3} à la seconde. Ce sera un déversoir de 100 mètres de long composé de 25 travées ayant chacune 4 mètres d'ouverture. La charge maximum d'eau sur les vannes ou poutrelles sera de moins de 2 mètres.

La vitesse du courant n'atteindra jamais, pendant le remplissage, un kilomètre à l'heure; elle n'exercera donc que peu d'action sur la manière dont nos gabares gouverneront. Nous avons dit que si nous donnions au courant la vitesse de 30 centimètres par seconde, qui ne déformerait pas les berges, nous aurions un abaissement de niveau gênant pour les manœuvres dans les Seuils. Pour éviter cet inconvénient, la manœuvre du barrage se fera de façon à maintenir toujours l'eau en amont, à un niveau constant, qui sera indiqué d'avance aux gardiens du barrage qui en manœuvreront les aiguilles en conséquence.

M. E. FLACHAT. A cette question s'en rattache une autre qui a été, à l'origine, étudiée avec soin par la Commission du canal, mais dont la solution paraissait être laissée à l'avenir. Cette question à décider est celle de savoir si les variations du niveau de la mer Rouge, qui sont de 1 à

2 mètres, n'exigeraient pas à l'entrée de Suez un travail important, une écluse régulatrice. A quelle donnée est-on arrivé?

M. LAVALLEY. La question n'a pas fait de progrès; je crois qu'avant l'expérience nul ne sait ce qui se passera. Mais il ne faut pas s'exagérer l'importance des courants qui s'établiront par suite des marées de la mer Rouge. Voici pourquoi : les niveaux moyens de la Méditerranée et de la mer Rouge sont les mêmes; les lacs Amers se tiendront à ce niveau; comme ils ont une surface énorme, la quantité d'eau venant de la mer Rouge dans les six heures pendant lesquelles la mer est au-dessus du niveau moyen, ou celle qui y retournera dans les six heures suivantes, pendant lesquelles la mer sera au-dessous, ne sera pas assez grande pour hausser ou abaisser d'une quantité appréciable leur niveau. Les marées ne se feront donc pas sentir au delà des lacs Amers.

Les courants alternatifs qui s'établiront entre la mer Rouge et les lacs Amers ne sauraient être considérables, parce qu'ils se renverseront toutes les six heures et non pas toutes les douze; ou, du moins, ils ne peuvent l'être que pendant très-peu de temps à chaque marée; et encore alors ne seront-ils une gêne pour la navigation que dans un seul sens. Un bateau qui se présenterait à Suez pour entrer pendant le fort du courant de jusant, par exemple, n'aurait que moins de six heures à attendre pour n'avoir plus à refouler qu'un courant faible, en supposant même qu'il ne puisse pas surmonter le courant maximum.

M. E. FLACHAT. Vous ne comptez pas sur une barre?

M. LAVALLEY. Je ne sais s'il s'en produira une, mais il est certain qu'elle ne peut se produire avec quelque intensité que dans le voisinage immédiat de la mer Rouge, c'est-à-dire dans la plaine de Suez, où le canal a la section de 100 mètres au plan d'eau, et où les berges, ayant à leur partie supérieure la forme de plages, sont en état de résister sans danger à l'action d'une barre.

Les bateaux postaux, comme ceux des Messageries, de la Compagnie Péninsulaire et Orientale, c'est-à-dire les bateaux qui ont un grand intérêt à ne pas perdre de temps, sont par cela même munis de très-fortes machines. Faisant aisément onze, douze et treize nœuds en mer, ils pourront remonter sans peine les courants les plus forts du canal, et résister à la petite barre qui se formera peut-être aux marées de vives eaux.

M. E. FLACHAT. Serait-ce la vitesse de 5 à 6 mètres par seconde que vous supposeriez à des navires comme ceux des Messageries?

M. LAVALLEY. Je ne dis pas qu'ils marcheront avec cette vitesse dans le

canal, mais avec leur machine très-puissante, ils pourront toujours refouler le courant.

M. E. FLACHAT. Cela nous fait arriver à la dernière question, qui devient la plus importante, aujourd'hui que tout doute s'efface, s'il en a existé, sur la réalisation du percement de l'Isthme. Il s'agit maintenant de l'utilisation du canal.

Pour réduire la dépense, la Compagnie en a rétréci le plafond à 22 mètres. Cette faible largeur permettra-t-elle d'utiliser le canal au maximum, c'est-à-dire avec une vitesse suffisante pour gouverner?

J'éprouve quelque hésitation à poser cette question. Nous avons, parmi nos invités, un ingénieur dont les travaux sont une illustration pour notre époque, et cela me rend fort craintif de manifester de l'hésitation sur un sujet que l'expérience n'a pas complétement résolu pour moi. Enfin, je dirai mon opinion. J'ai toujours vu que dans le chenal des avant-ports, ou dans des rivières peu larges, les grands navires gouvernent difficilement, à cause de la lenteur obligée de leur marche : or, les navires de 100 mètres de longueur moyenne sont ceux qui donneront au canal de Suez sa plus grande valeur. C'est en vue de navires de cette dimension que le percement de l'Isthme acquiert son importance universelle; le canal de Suez ne sera pas franchi habituellement par de petites embarcations.

La mer Rouge sera peu productive; c'est dans la grande mer des Indes qu'on ira desservir les relations commerciales. Or, les bâtiments que la mer des Indes exige sont ceux des Messageries impériales, ou de la Compagnie Péninsulaire et Orientale; ce sont des bateaux de 100 à 110 mètres de long sur 12 à 13 mètres de large. Ces bâtiments ont une aire considérable, ils possèdent une très-grande quantité de mouvement. Pour peu qu'ils se rapprochent d'un des bords du chenal, l'eau leur manque du côté de la rive, et alors ils y sont affalés. La plupart du temps, il est nécessaire de les touer. Il est impossible d'employer leur machine, parce que leur moteur, tournant à une vitesse considérable, à cause de la résistance qu'oppose la section du canal, débite une quantité d'eau beaucoup plus grande que celle qui provient du déplacement du navire. Le moteur fait alors le vide devant et à côté du navire. Ce vide est d'autant plus grand que le navire est plus près du bord, et le navire est incessamment affalé contre la rive qui le borde; il faut alors employer le touage. Mais dans cette condition du touage, qui à mon sens sera une servitude nécessaire pour le canal, même dans ce cas-là, je considère le croisement de deux navires tirant de 6m.50 à 7 mètres dans un canal qui ne mesure que 22 mètres au plafond, comme délicat. Je n'ai pas besoin de dire que la Commission a modifié son premier projet, car, à l'origine, la largeur du canal au plafond était de 40 à 50 mètres.

M. LAVALLEY. Les premiers projets dont vous parlez remontent très-loin. Pour moi, je n'ai jamais connu que le plafond de 22 mètres, et je crois que ce chiffre a été adopté presque dès l'origine.

M. E. FLACHAT. Ce n'est pas par suite de considérations techniques que la largeur du plafond du canal a été réduite de 50 mètres à 22 mètres; c'est pour des raisons financières. Du reste, le plafond eut-il une moindre largeur, la question serait la même, puisqu'il est toujours possible de l'élargir : cet élargissement est une affaire d'argent, et son importance est peu considérable, car ce n'est pas devant 25 ou 50 millions qu'on reculera quand on sera arrivé à ce point d'achèvement du canal. Or, je demande s'il n'y a pas lieu de craindre que la vitesse des navires franchissant l'Isthme ne soit tellement réduite que l'utilité d'élargir le plafond ne soit pour ainsi dire immédiate.

Cette question est sérieuse, puisque toutes les tentatives faites jusqu'à ce jour pour installer des moteurs sur les bateaux naviguant sur les canaux ont échoué à cause de la difficulté que je signale, celle de la trop faible section des canaux. Que le moteur ait été placé à l'avant ou à l'arrière, l'échec a été le même, et aussi bien avec la roue qu'avec l'hélice. Force a été d'adopter le touage. Or, comme le touage ne peut remorquer qu'à une vitesse de 2 à 3 mètres au maximum par seconde, les navires qui traverseront l'Isthme seront réduits à cette vitesse, tant que le plafond du canal n'aura que 22 mètres.

M. LAVALLEY. Il y a là deux questions : le touage est certainement le moyen de traction le plus économique; c'est pour cela que pour des embarcations qui doivent naviguer toujours dans un canal, il vaut mieux supprimer l'hélice et faire tirer sur une chaîne. Mais les bateaux qui arrivent dans le canal, munis d'une machine, devront s'en servir. Pourront-ils gouverner dans le canal? C'est une question que j'ai posée à tous les marins que j'ai vus, et notamment aux officiers des Messageries impériales. Ces Messieurs qui, depuis quelques mois, voient que le canal s'achèvera prochainement, que prochainement ils seront obligés d'y passer, ont examiné cette question de très-près. Ce sont tous des marins très-expérimentés, d'anciens officiers de le Marine impériale. Je n'en ai trouvé aucun qui, après un examen sérieux, n'ait dit qu'ils pourraient gouverner dans le canal sans difficulté. Je leur ai fait toutes les objections possibles, celle-ci par exemple : quand avec nos canots à vapeur nous naviguions dans les premiers chenaux avec une vitesse de 11, 12, 13 kilomètres à l'heure, ces canots, qui mesurent à peu près 14 ou 15 mètres de long, et dont la section au maître couple immergé est d'à peu près un sixième ou un septième de la section des premiers chenaux ouverts, refoulaient devant eux une certaine quantité d'eau qui devait ensuite revenir à l'arrière; mais elle ne revenait pas en quantités égales

d'un bord et de l'autre, de sorte que tantôt l'avant, tantôt l'arrière se trouvait poussé plus d'un bord que de l'autre, et le timonier devait sans cesse donner de la barre, soit d'un côté, soit de l'autre.

Quand nous naviguons avec les mêmes embarcations dans une grande section, l'eau revient encore plus d'un côté que de l'autre, le même effet se produit mais dans une proportion tellement faible que nous ne nous en apercevons pas.

J'en ai fait l'observation aux marins, en leur faisant remarquer que nos canots à vapeur occupent dans les petits chenaux la même place que les grands bateaux dans le canal entier, et que peut-être ces derniers, et pour la même raison, éprouveraient des embardées considérables.

Il m'a toujours été répondu que nos canots, très-courts pour leur largeur, presque sans quille, embardent beaucoup plus facilement que les grands bateaux à formes tout à fait différentes, et qu'il n'y avait pas lieu de craindre que des embardées extraordinaires pussent être un obstacle au passage des grands bateaux dans le canal.

Je le répète, après avoir bien vu, bien examiné, bien réfléchi, tous les marins que j'ai consultés étaient d'accord sur ce point qu'ils se faisaient fort d'arriver d'un bout à l'autre du canal sans même toucher les bords.

C'est surtout pour les marins que j'ai fait faire le modèle que vous voyez là, représentant une certaine longueur du canal, et dedans un grand bateau. Ce bateau est le *Masr*, construit pour le vice-roi d'Égypte par les Forges et Chantiers de la Méditerranée. Il a 114 mètres de long sur plus de 11 de large.

On a demandé aux marins : quelle vitesse minimum croyez-vous nécessaire pour que vos bâtiments puissent gouverner? Ils ont répondu que 7 kilomètres leur suffisaient largement. La Compagnie pourra donc limiter à 7 ou 8 kilomètres la vitesse des bateaux dans les Seuils, où le canal, tout en ayant la même largeur au plafond que partout ailleurs, n'a que 60 mètres au plan d'eau. Dans les grandes sections, avec 100 mètres au plan d'eau, on marchera plus vite, parce que la seule considération qui empêche de marcher trop vite, c'est la crainte de dégrader les talus et d'avoir un entretien trop considérable; mon avis est qu'on pourra faire passer les grands bateaux, à 10, à 12 kilomètres sans inconvénient, dans la section large qui, avec les Lacs, forme les quatre cinquièmes de la longueur totale du canal.

Sur les 160 kilomètres formant cette longueur totale, il y en a [illegible] dans les Lacs sur lesquels les bateaux pourront marcher à la vitesse qu'ils voudront. Je veux bien que, n'ayant que 2 à 3 mètres d'eau sous la quille, ils n'auront peut-être pas la même vitesse qu'en mer, mais ils pourront faire de 9 à 10 nœuds au moins.

Sur les autres 120 kilomètres, il y en a à peu près 90 d'une section permettant une vitesse de 10, 11, probablement 12 kilomètres. Il n'en reste donc que 30 dans les Seuils, où les bateaux seront obligés de ne marcher qu'à 7 ou 8 kilomètres. Avec ces vitesses de marche dans les différentes parties du canal, on le traverserait sans perte de temps en 16 heures, soit en 18 en comptant le temps qu'on perdra dans les garages.

La Compagnie s'est préoccupée aussi de la question des croisements. On a là-dessus l'exemple du canal de Nord-Hollande où on laisse croiser les bateaux, où la navigation est libre; seulement quand deux bateaux se rencontrent, l'un d'eux s'arrête, celui qui marche dans le sens indiqué par le règlement, et l'autre continue sa route.

Les marins disent : tous les bateaux de 12 mètres de large pourront croiser à la condition que l'un stoppe.

Je faisais partie de la Commission qui a examiné les questions relatives à l'exploitation du canal, et j'ai insisté sur la nécessité d'établir des garages. Je disais : l'existence de garages assez fréquents facilitera singulièrement la détermination des premiers règlements de la circulation du canal. On pourra dire, par exemple : de tel à tel point, on pourra marcher du nord au sud de midi à six heures, et du sud au nord de six heures à minuit, et ainsi de suite.

Un bateau, par exemple, part de Port-Saïd à un moment où la navigation est ouverte du nord vers le sud, dans la partie comprise entre Port-Saïd et Kantara; s'il n'est pas parti assez tôt pour arriver à Kantara pendant la période où la marche vers le sud est ouverte, quand il voit arriver l'heure à laquelle le sens de la marche se renverse, il se gare au premier évitement qu'il rencontre.

Je ne dis pas que la Compagnie doive adopter ce mode de régler la circulation, mais je l'ai cité pour montrer qu'il sera très-facile au moyen de ces garages d'assurer la marche des navires. L'expérience d'ailleurs amènera promptement à un règlement simple et commode.

M. E. FLACHAT. Vous avez résidé assez longtemps en Égypte pour connaître les vents qui y règnent : vous n'admettez pas que le vent puisse gêner la marche et la direction des navires dans le chenal du canal?

M. LAVALLEY. Non, le vent va d'une mer à l'autre, de la mer froide à la mer chaude, de la Méditerranée à la mer Rouge, et il y va par le chemin le plus court; le canal étant le chemin le plus court, les vents suivent par conséquence le canal.

Le vent est presque toujours du nord; quand il change, le renversement est presque toujours direct. Les vents sont rarement traversiers au

canal. A ce sujet, les marins consultés ont dit qu'avec des vents même très-frais, l'angle de dérive qu'ils devront donner à leur bateau pour n'être pas poussés à terre ne sera jamais tel qu'il puisse les gêner dans le canal. Quand le vent soufflera en tempête, peut-être faudra-t-il s'arrêter, mais cela arrive très-rarement en Égypte.

Le vent ne sera donc un obstacle à la navigation que pendant quelques courtes périodes, de quelques heures chacune, et ne formant ensemble dans toute une année que la durée de peu de jours.

M. E. FLACHAT. Vous nous avez dit que les sables ayant filtré à travers la digue ouest de Port-Saïd, vous avez écarté le chenal de 250 mètres du pied de cette digue; vous perdez donc une bande de 250 mètres dans l'avant-port. Est-ce que les dragues ne peuvent pas vous rendre cette superficie? Croyez-vous que les sables cribleront à nouveau?

M. LAVALLEY. Oui. Pourquoi ne cribleraient-ils plus de nouveau, si on enlevait le bourrelet? Peut-être aurait-il mieux valu, dès l'origine, au lieu de jeter les blocs à pierres perdues, les déposer régulièrement les uns sur les autres, à la grue : on aurait évité le passage des sables. On n'y a pas songé, et cela du reste aurait peut-être coûté plus cher. Il n'y a pas grand'chose à regretter; maintenant en laissant se former le bourrelet, on se met à l'abri de l'entrée ultérieure du sable, et l'avant-port est tellement étendu qu'on ne saurait prévoir l'époque à laquelle le développement du bassin fera regretter l'espace occupé par le bourrelet.

M. E. FLACHAT. Il me reste à vous remercier de la manière dont vous avez répondu à mes questions; vos réponses inspirent la conviction de plus en plus profonde du succès de vos efforts.

M. LAVALLEY. J'éprouve souvent quelque embarras en répondant aux objections que, hors d'ici, on a faites à la construction du canal, tant elles manquent de fondement.

Ne nous a-t-on pas dit que la mer, devant Port-Saïd, était semée d'îles flottantes de boue épaisse, et qu'un navire entré là dedans n'en sortirait plus? Qui a vu une seule de ces îles? Nous recevons à Port-Saïd vingt-cinq bateaux de charbon par mois, et il y a deux ans que nous n'en avons perdu un seul. Je me trompe, nous en avons perdu un, l'*Amalia*, qui ne valait rien, et ses armateurs ont dû s'en féliciter. La navigation est parfaitement sûre, et cette mer de vase dont on faisait tant de bruit n'existe pas.

On vous avait parlé aussi de sables qui devaient combler les fouilles au fur et à mesure que nous les ferions; le canal d'eau douce qui existe déjà

depuis longtemps a donné un démenti à cette allégation. On l'a curé une fois depuis sa construction, lorsque nous avons dû y faire passer nos dragues, et ce n'est pas à cause du sable que le vent aurait apporté que ce curage était nécessaire; c'est tout simplement parce que sur beaucoup de points, dans la hâte de l'exécution par des milliers d'ouvriers, avec la difficulté des opérations de nivellement dans le désert échauffé par le soleil, le plafond avait été établi trop haut. On donna à ce curage la profondeur strictement nécessaire pour le passage de nos dragues. Deux ans après, il y a quelques semaines, sans qu'il ait été fait de nouveau curage, nous avons pu faire passer deux dragues. Si les sables venaient en si grande abondance, ils auraient, en deux ans, assez obstrué le canal pour empêcher le passage des dragues.

Nous avons d'ailleurs, comme je vous le disais tout à l'heure, la mesure certaine des quantités de sable que le vent apporte, puisque nous nous faisons rembourser les apports par la Compagnie.

Pour le Seuil du Sérapéum, nous avons un abonnement que nous ne croyons pas défavorable, et tout ce qu'on nous paie revient à 300,000 mètres cubes par an. M. Couvreux, qui est ici, vous dira ce qu'il a reçu pour la portion du canal qui traverse le Seuil d'El-Guisr, et dont il fait le creusement à sec.

M. COUVREUX. 4,000 mètres cubes par kilomètre et par an.

M. LAVALLEY. Pour 10 kilomètres, cela fait 40,000 mètres cubes, et pour tout le canal 340,000 mètres; j'en compte 500,000.

Dans les autres parties, les apports sont si faibles que nous ne pouvous pas les faire constater par la Compagnie. Voilà à quoi se réduit la principale et la plus sensée des objections qu'on faisait.

Qu'y avait-il encore? Il y avait les vases; on disait que jamais nous ne ferions tenir le canal à travers le lac Menzaleh. Nous avons pris le taureau par les cornes, et nous avons mis nos premières dragues à l'endroit le plus difficile, qu'on appelle Raz-El-Ech. C'est là que passait autrefois la branche Tanitique qui, en se déplaçant peu à peu, a dû occuper successivement un espace de 3 à 4 kilomètres, où elle avait déposé un sable fin et limoneux. C'est là que nous avons commencé à faire le canal, et nous avons vu que la terre tient au talus de un et demi pour un.

Nous n'avons point vu d'affaissement de berge; on disait que les terres qu'on mettait sur la berge revenaient par-dessous, que cela avait été pour M. Aiton, l'entrepreneur anglais, un motif de résiliation de son marché. En ces points le canal est depuis longtemps déjà creusé à 8 mètres, et nous n'avons constaté aucune déformation.

Le sol supporte nos cavaliers à merveille, et nous n'avons pas le moindre boursoufflement.

L'expérience a donc fait justice des sinistres prédictions dont l'exécution du canal avait été l'objet. Les objections faites à son exploitation sont considérées par les marins comme aussi peu fondées. L'expérience viendra bientôt donner raison, n'en doutons pas, à leur confiance.

Dans la conversation engagée après la séance, M. Du Puy-de-Lôme, consulté sur la vitesse dont les navires seraient susceptibles dans le canal et sur la facilité de les gouverner, a manifesté une grande confiance dans les conditions de navigation du canal. Il a cité la navigation de grands paquebots à vapeur rapides dont il a été témoin dans la rivière de Clyde. Ces paquebots ne pouvaient pas évidemment maintenir en rivière les vitesses de 12 à 13 nœuds qu'ils atteignent en haute mer, en raison du grand accroissement de résistance des navires en marche dans les passages étroits et peu profonds; mais ils remontaient cependant jusqu'à Glasgow avec des vitesses satisfaisantes et en gouvernant très-bien dans les parties de cette rivière qui étaient alors aussi rétrécies que les passages les plus étroits du canal de Suez.

Dans les lacs qui traversent ce canal sur une grande partie de son parcours, il n'y a pas de raison pour ne pas laisser les navires à vapeur se lancer à toutes les vitesses dont ils seront susceptibles. Dans les parties où le plan d'eau ne s'étend guère qu'à cent mètres, et *à fortiori* dans certains passages plus étroits, il sera nécessaire de modérer la vitesse pour ne pas endommager les berges sablonneuses, mais même en réduisant cette vitesse au besoin à 6 nœuds dans ces passages, la faculté de gouverner pour des navires bien faits ne sera nullement compromise. Des vents de travers même très-froids n'empêcheront pas les timoniers de suivre dans le canal la direction voulue.

RAPPORT

DE LA 20e SECTION

CHARGÉE DE L'ÉTUDE

DU

MATÉRIEL ROULANT DES CHEMINS DE FER

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

La 20e section[1] vient aujourd'hui présenter son rapport sur ses opérations, et remettre entre vos mains les renseignements qu'elle avait mission de recueillir sur ce qui concernait, à l'Exposition de 1867, le matériel roulant des chemins de fer, sauf les locomotives.

La 20e section, dans sa première séance, tenue le 14 juin 1867, a arrêté la répartition de ses travaux, basée pricipalement sur les facilités de relation que les divers membres pouvaient avoir avec les exposants étrangers; d'un autre côté, les chefs de service du matériel des chemins de fer français ont bien voulu se charger de fournir lès renseignements concernant leurs expositions respectives. Dans les six autres séances qui ont suivi, les renseignements recueillis par chacun des membres ont été successivement communiqués, comme l'établissent les procès-verbaux de ces séances déposés dans vos archives.

En dehors du travail fait dans les séances de la section, la réunion des documents s'est faite conformément à la répartition arrêtée dans la première séance, et comme nous allons l'indiquer ci-dessous, les numéros d'ordre[2] étant ceux des dossiers particuliers composant le dossier général.

1. Les Membres de cette section étaient :

MM. E. Mayer, *Président;*

Ameline, Banderali, Benoît-Duportail, Bricogne, Delannoy, Dorré, Goschler, Lecorbellier, Mathieu (Henri), Regnard (P), Veret, Vuillemin (L.).

M. Jules Morandière, *Secrétaire.*

2. Ces numéros correspondent à ceux des dossiers de la 20e section.

I. Sur les voitures françaises, par M. Benoît-Duportail, ingénieur au chemin de fer de l'Ouest.

II. Sur les wagons français et les véhicules de la Grande-Bretagne, des États-Unis et du Canada, par M. Henri Mathieu, ingénieur au chemin de fer du Midi.

III. Sur les véhicules des Pays-Bas, de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Suisse et de l'Italie, par M. Vuillemin, ingénieur en chef au chemin de fer de l'Est, M. Doré, inspecteur de la même Compagnie, M. le colonel fédéral Veret.

IV. Sur les véhicules de la Belgique, par M. Banderali, ingénieur au chemin de fer du Nord, ainsi que sur divers objets, tels que : dynamographe de M. Holtz, couvertures mobiles de M. Delaunoy, aspirateur Noualhier.

V. Sur les wagons de terrassements et sur les tricycles de M. Balans, par M. Lecorbellier, ingénieur au chemin de fer de l'Ouest.

VI. Sur les chapitres spéciaux des freins, des communications du personnel des trains, et des ferrures de wagons, par M. Bricogne, ingénieur au chemin de fer du Nord.

VII. Sur les chapitres spéciaux du graissage et de l'éclairage, par M. Ameline.

VIII. Sur les chapitres spéciaux des essieux montés et des ressorts, par M. J. Morandière.

(M. J. Morandière a été également chargé de faire le présent travail qui est le résumé de ces divers documents, dont la lecture *in extenso* aurait demandé un temps trop considérable.)

Plusieurs séances de la Société ont été consacrées à des communications et à des conversations sur l'Exposition de 1867 ; mais comme aucune d'elles n'a eu trait aux voitures et wagons, votre 20ᵉ section a pensé qu'en attendant les travaux particuliers qui pourront surgir plus tard, elle devait vous exposer les faits saillants qui ressortent de la lecture des mémoires spéciaux que chacun des membres a joints à son dossier.

Nous remarquerons incidemment qu'il n'y avait pas à l'Exposition de ces inventions bizarres et impraticables comme il en surgit de temps en temps quelques-unes; presque tout ce qu'on y remarquait était appliqué ou susceptible d'application pratique, et ce fait doit être attribué, croyons-nous, aux soins intelligents du comité d'admission de la classe 63.

Nous adopterons pour le résumé l'ordre que nous avons indiqué plus haut pour les dossiers, en groupant toutefois les nᵒˢ I à V, de manière à rapprocher ensemble les véhicules de même nature, quelle que soit leur nationalité, conformément à la liste ci-dessous :

Dossiers I *à* V. — 1° Voitures à voyageurs, françaises et étrangères; 2° fourgons; 3° wagons français et étrangers; 4° wagons de terrassements et trycicles; 5° appareils divers.

Dossier VI. — 1° Frein; 2° communication du personnel des trains; 3° ferrures des wagons.

Dossier VII. — 1° Graissage; 2° éclairage.

Dossier VIII. — 1° Essieux montés; 2° ressorts.

DOSSIERS I, II, III, IV, V.

1° Voitures à voyageurs françaises et étrangères.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES. Les voitures exposées dans les sections françaises et étrangères avaient presque toutes des brancards en fer, et ces derniers, pour la plupart, avaient la section de doubles T.

La Société belge de construction du matériel (directeur Ch. Évrard) et la Compagnie du chemin de fer de Lyon étaient allées encore plus loin, et avaient exposé des véhicules où le châssis était entièrement en fer.

PARTICULARITÉS DES VOITURES A VOYAGEURS FRANÇAISES. En tête des améliorations que l'Exposition fait ressortir comme ayant été apportées depuis quelques années dans le matériel à voyageurs, il faut mettre celles qui ont été réalisées par le chemin de fer de l'Est; on remarquera que, dans les 2e et 3e classes de cette Compagnie, on a placé deux oreillettes par banquette marquant ainsi la place du voyageur du milieu et permettant à chacun d'appuyer sa tête.

Dans la 3e classe, les siéges et dossiers ont reçu une forme courbe bien appropriée à celles du corps, et les séparations ont été montées plus haut que la tête, sans cependant aller jusqu'au plafond.

Dans la voiture de 2e classe, on trouve un filet pour les menus bagages, Mais cette amélioration, qui se trouvait déjà dans les secondes de l'Ouest et de Lyon, est appelée à se répandre sous peu dans les autres Compagnies. En somme, on paraîtrait ne plus redouter la concurrence entre les 2e et 1re classes.

On remarquait encore dans l'Exposition de la Compagnie de l'Est, une voiture du système Vidard, à impériale fermée et à longerons cintrés.

Deux modèles de coupés-lits étaient exposés : l'un par la Compagnie de l'Est, l'autre dans une voiture de 1re classe de la Compagnie de Lyon : dans le premier, tout l'espace d'un compartiment de 1re classe est employé, et présente trois fauteuils de la forme ordinaire, portant trois lits accolés

à leur dossier et dissimulés dans la cloison de séparation des deux compartiments; lorsqu'on veut se coucher, les fauteuils se renversent par un mouvement de bascule, les siéges s'effacent et les lits s'offrent à la disposition des voyageurs.

Le deuxième spécimen est tout autre. La Compagnie de Lyon maintient sur ses lignes principales l'emploi des voitures à voyageurs à six roues qu'elle avait adoptées dès l'origine, et qu'un écartement d'essieux extrêmes de 4 mètres à 4m.10 lui avait permis de faire très-longues. Toutes les voitures de 1re classe à six roues ont trois compartiments et un coupé. C'est ce dernier que l'on a depuis longtemps déjà disposé sur un certain nombre de voitures, de telle sorte qu'on peut enlever la séparation intermédiaire [1], ce qui permet à une personne de s'étendre dans le sens perpendiculaire à l'axe du wagon. Il reste encore un espace suffisant pour asseoir une personne d'accompagnement, et sous ce dernier siége est un water-closet, complément de ce compartiment destiné surtout à des malades.

On remarque que la Compagnie d'Orléans, dans sa 1re classe, est restée fidèle à son habitude d'interposer des rondelles de caoutchouc entre le châssis et la caisse : elle est suivie dans cette voie par le Nord et le Midi; seulement, pour cette dernière Compagnie, les rondelles sont remplacées par des ressorts en hélices.

Dans une voiture de 1re classe, destinée au chemin du Mont-Cenis, on remarque les galets horizontaux destinés à embrasser le rail central du système Fell.

Nous terminerons cette revue des voitures françaises exposées en citant le matériel du chemin de fer de la Croix-Rousse (à Lyon), que vous connaissez par diverses communications.

PARTICULARITÉS DES VOITURES A VOYAGEURS ÉTRANGÈRES. Une observation générale semble résulter d'un examen attentif des renseignements des dossiers, et notamment du tableau général des dimensions : c'est que les véhicules étrangers sont ordinairement plus lourds que les nôtres.

Dans la plupart des voitures allemandes et dans quelques-unes des voitures étrangères, les coussins des compartiments de 1re et de 2e classe se composent d'une couche de crin surmontant un sommier à ressort. Dans beaucoup de ces voitures, la garniture des compartiments n'est pas attachée directement aux séparations et cloisons de la voiture, mais elle est portée par des châssis isolés formant banquettes, qui peuvent s'enlever facilement de la voiture par la portière en cas de réparation. Ces dispositions sont depuis fort longtemps d'un usage général dans toute l'Allemagne.

1. Cette disposition se retrouve d'ailleurs sur la plupart des chemins de fer français, soit dans des coupés, soit dans des compartiments ordinaires.

Le nombre restreint des véhicules exposés dans les sections étrangères et leur destination quelquefois toute spéciale ne nous permettent pas de juger des améliorations qui ont pu être apportées aux matériels des divers pays; par suite, nous ne pouvons que nous borner à citer les particularités saillantes des voitures exposées.

PAYS-BAS. Les Pays-Bas ont exposé de grandes voitures mixtes à brancards en fer. Dans ces pays, comme en Allemagne, les 1res classes sont peu fréquentées, et, dans la plupart des cas, on ne trouve que deux types de voitures : 1° mixte, à 1re et 2° classe; 2° voiture de 3° classe.

Sous le rapport du nombre des places, les compartiments hollandais sont pareils aux nôtres; mais sous le rapport de la garniture, ils se rapprochent des conditions des voitures allemandes. Comme ces dernières voitures, et comme toutes celles de la plupart des pays étrangers, ils offrent des fenêtres latérales fixes, les fenêtres des portières étant seules mobiles.

Les fenêtres des portières de la voiture de M. Beynet sont à châssis équilibré, et glissent entre deux rainures de caoutchouc, destinées à amortir le bruit et à s'opposer aux infiltrations d'air et d'eau; c'est à l'expérience de la pratique courante à prononcer sur la valeur de cette disposition.

BELGIQUE. La voiture exposée par la Société de construction (Ch. Évrard, directeur) a été étudiée en vue des embranchements et chemins secondaires, et à cet effet elle contient des compartiments des trois classes. Elle est garnie d'un double plafond à circulation d'air, comme le sont les voitures destinées aux pays chauds. Son bâti est entièrement en fer, comme nous l'avons déjà signalé.

PRUSSE. La *Société de construction du matériel de Berlin* (anciens ateliers Plug), sur trois véhicules exposés, nous offre deux voitures avec cabinets water-closet. Déjà, en 1862, elle avait exposé à Londres des voitures semblables, et il paraîtrait que, depuis cette époque, plusieurs autres ont été mises en essai sur les diverses lignes de l'Allemagne du Nord et du Sud. Jusqu'à ce jour, on cherche encore le modèle convenable, et les dispositions des deux wagons exposés ont été étudiées par le constructeur.

L'une de ces voitures est, de même que celles qui étaient exposées à Londres, destinée à la Compagnie de Berlin-Stettin; mais, tandis que la voiture de 1862 était à six roues et à vingt-neuf places, celle de 1867 est à quatre roues et à vingt-deux places; la disposition des cabinets est la même; il y en a deux séparant les deux compartiments de 2° classe du compartiment de 1re classe. Les banquettes ne sont pas continues et per-

mettent la circulation par des passages intérieurs. On accède à cette voiture par des plates-formes extrêmes, et aussi dans le compartiment de 2e classe par une portière placée comme dans nos voitures ordinaires.

La voiture de Berlin-Stettin est éclairée à la bougie, et le chauffage se fait en hiver au moyen de récipients remplis de sable chaud et introduits sous les banquettes par de toutes petites ouvertures spéciales, ce qui évite l'ouverture des portières.

La deuxième voiture de ce système à cabinets est destinée à la ligne de Halle-Cassel, dont tout le matériel est à quatre roues : il est donc naturel qu'elle soit elle-même à quatre roues. Ici on trouve quatre cabinets; deux seulement communiquent avec l'intérieur de la voiture, l'un avec le compartiment de 1re, l'autre avec la 2e classe, mais tous sont accessibles du dehors; aussi a-t-on cru devoir mettre un siége d'attente auprès de chacun d'eux : on accède à cette voiture au moyen du système ordinaire de marchepieds et portières.

Le troisième véhicule exposé par la Société de Berlin est un wagon-poste, destiné à la ligne de l'Est prussien, et muni d'appareils à prendre les dépêches sans arrêt des trains. Un tiers du wagon, vers l'avant, est réservé à l'appareil, calqué d'ailleurs sur le modèle adopté en Angleterre, et se composant d'un filet qui est tendu au moment du passage à une gare, et qui décroche le paquet des lettres préalablement suspendu à une potence. La partie du système anglais destinée à déposer les paquets n'est pas reproduite, on se contente de les jeter. Cette voiture est chauffée au moyen d'un poêle en fonte, qui se charge par le dessus de la voiture, et la traverse de part en part.

VOITURE MIXTE DE M. LUDERS. La voiture exposée par M. Lüders est une voiture destinée au service courant de la ligne de Halle-Cassel. Sur les quatre compartiments qui la composent il y en a un de 1re classe à six places, et trois de 2e classe à huit places; parmi ces derniers, un est affecté aux dames, et un autre aux fumeurs. — Les compartiments de 2e classe présentent une séparation dans le milieu et ressemblent sous quelques rapports à nos compartiments de 1re classe [1]. Le compartiment de dames ne présente pas de séparation.

SUISSE. — La Société de construction de Neuhausen, près Schaffouse, en Suisse, expose une voiture mixte à 4 roues de la Compagnie du Nord-Est suisse. — Cette Compagnie avait d'abord adopté les wagons américains à 8 roues dont elle possède encore un assez grand nombre; mais soit que l'exemple du duché de Bade, son voisin, lui ait montré qu'on

1. En Allemagne, la 1re classe étant très-peu fréquentée par le public, il n'y a en réalité que deux classes, 2e et 3e, mais les trains-express, sauf de rares exceptions, ont des voitures des trois classes.

pouvait faire circuler dans des courbes d'assez petits rayons les véhicules à 4 roues très-écartées, soit qu'il y ait eu un autre motif, la Compagnie du Nord-Est a fait étudier et construire des wagons à 4 roues où l'on a conservé la disposition américaine à couloir, qui, en Suisse, est tout à fait entrée dans les habitudes. L'essai ayant été favorable à ces nouvelles voitures, ce type a été définitivement adopté et l'on a fait diverses combinaisons, telles que voiture mixte 1re et 2e classe, voiture mixte 2e et 3e classe, voiture entièrement pour 3e classe. — La voiture exposée est un mixte de 2e et 3e classe. — Les banquettes sont indépendantes de la caisse, et les dossiers formant séparation s'élèvent seulement au niveau de la tête. — Des filets existent dans la 2e classe pour recevoir les menus bagages, et le même but est rempli dans la 3e classe par des planchettes posées à la place où l'on met le filet.

La comparaison d'un wagon de ce genre avec le modèle exposé par l'Est français donne, par exemple, pour les 3es classes :

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT.	EST FRANÇAIS.	NORD-EST SUISSE.
Longueur totale du châssis (sans tampon)	7m.00	8m 82
Largeur extérieure à la ceinture	2 .80	2 .88
Poids de la voiture vide	6.700 kilo.	7.500 kilo.
Nombre de places offertes	50 places.	44 places.
Poids-mort par voyageur	134 kilo.	170 kilo.

ÉTATS-UNIS. — Dans l'exposition de la commission sanitaire (*sanitary commission*) des États-Unis, se trouvait un modèle au quart d'un wagon-ambulance pouvant contenir 30 blessés disposés sur trois étages de couchettes. Les brancards supportant les lits sont attachés au wagon par des brides en caoutchouc : outre les lits, il y a plusieurs compartiments réservés aux médecins, une pharmacie et des cabinets. Le véhicule lui-même est du système américain, c'est-à-dire d'une grande longueur et porté par deux trucks mobiles, chacun à 4 roues. Le frein et la ventilation sont établis d'après les plans de M. Creamer; la ventilation se fait par des palettes placées à la partie supérieure et s'ouvrant sous l'action même de l'air, quand le wagon est en marche.

CANADA. — Un autre modèle exposé dans la section du Canada représente à l'échelle de 1/16 un wagon-dortoir, du grand Trunk railway, analogue à un modèle exposé à Londres en 1862 par le Great-Western railway du Canada. C'est aussi une grande voiture, du type américain à couloir, montée sur deux trucks articulés, à 6 roues chacun. Les compartiments de jour se transforment à volonté en lits avec

draps pour la nuit, en étendant horizontalement les dossiers des banquettes au niveau des siéges, et descendant du plafond une deuxième couchette. On trouve en outre, à l'une des extrémités, deux salons isolés du reste des compartiments. Cette voiture est aussi pourvue de cabinets water-closet et de toilette, séparés pour les hommes et pour les dames; et elle est ventilée par une circulation d'air dans un double plancher. En hiver, cet air se chauffe en passant autour des tuyaux du poêle, et contribue au chauffage de la voiture.

GRANDE-BRETAGNE. — Dans la section anglaise on voyait fonctionner, sur un modèle, l'appareil d'échange des lettres usité en Angleterre. Trois wagons-postes du train limité des malles (limited mail) du London-North-Western railway communiquent entre eux au moyen de soufflets en cuir : les deux extrêmes servent au triage de la correspondance au moyen de casiers disposés sur une seule des faces ; la voiture où sont installés les appareils d'échange sert d'allége. Les lettres sont prises au moyen d'un filet qui décroche le paquet préalablement suspendu à une potence établie près de la station, comme nous l'avons vu plus haut pour le wagon-poste prussien ; mais il y a en plus un appareil spécial pour laisser les lettres, consistant dans l'inverse de la disposition précédente, c'est-à-dire qu'il y a un filet à la gare et une potence au wagon ; quelquefois même il y a deux filets et deux potences abaissés successivement.

2° Fourgons.

Quatre véhicules de cette nature sont exposés : *Section française*. 3 fourgons.

A. Fourgon à bagages, exposé pour montrer le frein Achard, dont il est muni. Sauf le frein, le wagon est du type ordinaire de l'Est, à portes au milieu de la longueur, vedette et siége du conducteur à l'intérieur, contre une des parois.

B. Fourgon à messagerie à six roues et sans frein de Lyon. Sur les lignes principales de cette Compagnie, le service des messageries demande souvent pour certains trains un nombre de wagons beaucoup plus grand que le nombre de garde-freins prescrit ; il y a donc avantage pour ce cas à avoir un certain nombre de wagons pareils au modèle exposé. Dans ce véhicule le recouvrement extérieur est en panneaux de tôle ayant toute la hauteur du wagon, à l'imitation des wagons allemands.

C. Fourgon lesté à marchandises de la Compagnie de l'Est. Ce véhicule exposé à cause du frein Stilmant, dont il est muni, nous montre une certaine catégorie de fourgons destinés au train faisant peu de service de route : il a été par suite nécessaire de les lester afin de rendre le frein

efficace; la partie antérieure forme un compartiment spécial pour le chef de train.

PAYS-BAS. — Le quatrième fourgon est, dans la section hollandaise, exposé par la Société d'exploitation des chemins de fer de l'Est, dont les ateliers sont à Damslut, près Utrecht. Un compartiment est ménagé à un bout du fourgon pour le chef de train : le siége n'est pas surélevé de manière à permettre la vue au-dessus de la toiture; mais, pour remplir ce but, on a placé dans un surélévement spécial et dans une boîte latérale des glaces inclinées qui se trouvent vis-à-vis le conducteur lorsqu'il est assis, et lui montrent son train dans toute son étendue. Ce moyen est moins bon pour le fourgon d'arrière que pour le fourgon de tête; les vitrages qui garantissent les glaces étant, dans le premier cas, ternis par la poussière et la fumée des machines.

3° Wagons.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Dans les wagons à marchandises exposés, plus encore que dans les voitures à voyageurs, on remarque la substitution du fer au bois. L'Exposition nous montre même des wagons en Belgique et en Prusse dont la caisse est en tôle. Dans les sections française, belge et prussienne, on trouve des wagons dont les châssis sont entièrement en fer: enfin deux wagons, celui de M. Vidard, à châssis brisé, et celui d'Italie, ont des brancards en bois.

PARTICULARITÉS DES WAGONS. — *Section française.* 3 wagons.

A. Dernier modèle de wagon à houille, de la Compagnie de Lyon, à châssis complétement en fer. Les montants de la caisse sont également en fer, et il ne reste plus en bois que les planchers et les faces. Ce wagon chargeant 10 tonnes et tarant 5t.360 coûte, pris à l'usine. . . . 2,724 fr.

B. Wagon à houille chargeant 8 tonnes, construit par MM. Chevalier Cheylus et Cie, et annoncé par eux comme étant d'une construction économique et bon pour chemins d'intérêt local. Les brancards sont en fer. Le frein à main est du système Stilmant. Il tare 4t.130k, et coûterait, à l'usine. . . . . 2,050 fr.

C. Wagon à châssis brisé, système Vidard, construit par MM. Gargan et Cie. Ce véhicule représente un châssis ordinaire de wagon à 4 roues, brisé dans son milieu, les deux moitiés étant réunies par des plongeurs et boisseaux garnis de rondelles de caoutchouc, ne permettant aucun jeu vertical, mais aissant un certain jeu dans le sens horizontal pour le

passage des courbes. La charge est portée par un grand cadre reposant sur le châssis brisé et pivotant sur deux articulations placées au droit des essieux. Ce wagon avait fait, au moment de l'Exposition, 15,000 kilomètres de parcours pour essai, sur les lignes de l'Ouest. Il a été fait avec des essieux de dimensions exceptionnelles, afin de porter 16 tonnes de charge. Il tare $6^t.600^k$ (avec bandages de $0^m.035$ d'épaisseur) et coûterait, pris à l'usine. . . . . 3,500 fr.

BELGIQUE. — La société belge de construction du matériel (directeur Évrard) a exposé un wagon couvert entièrement en fer; il n'y a plus en bois que le plancher du wagon : chacun des montants est formé d'une seule et même cornière cintrée en berceau à sa partie supérieure, supportant la toiture. Les panneaux en tôle sont attachés à ces cornières. Le wagon est muni de portes à ses extrémités, suivant les prescriptions de l'État belge pour le transport de la cavalerie. La tare de ce wagon ($6^t.800^k$), supérieure à la tare ordinaire des wagons français, est annoncée néanmoins comme étant inférieure au poids vide des wagons belges en bois de même destination.

PRUSSE (4 wagons). — Deux constructeurs prussiens (Schmidt et Ruffer) ont exposé des wagons à houille entièrement en tôle; un certain nombre de wagons pareils circulent sur les chemins de la Prusse orientale, malgré leur prix et leur poids plus élevés que ceux des wagons en bois.

M. Carl Veyer, de Dusseldorf, expose un wagon à houille, à frein, avec brancards en fer pareils à ceux qu'emploie la Compagnie du chemin de fer Bergische-Markische.

Enfin M. Ludders expose un wagon fermé du type ordinaire, destiné à la ligne de Halle-Cassel.

ITALIE. — Les ateliers de Florence de la Compagnie des chemins de fer romains (section Nord) avaient envoyé un wagon couvert à marchandises ou à bestiaux, construit par eux. Ce véhicule rappelle les constructions anglaises.

AUTRICHE. — Ce pays nous présente deux dessins de wagons destinés l'un au chemin de l'Impératrice Élisabeth, et l'autre au chemin de fer du Nord-Ferdinand. On y remarque aussi le fourgon-tender qui accompagne la locomotive Steierdorf, dont le dessin et la description se trouvent dans une notice imprimée annexée au dossier de la 21e section, chargée de l'examen des locomotives.

4° Wagons de terrassements et tricycles.

La catégorie des *wagons de terrassements* était représentée dans la

classe 63 par des modèles de M. *Suc-Chauvin*, à caisse montée sur un pivot et versant sur les quatre faces.

M. *Balans* a exposé divers modèles de *tricycles*, destinés au service des bagages, et construits soit en tôle, soit en cornières; leur emploi commence à se répandre dans les gares, notamment au chemin de fer du Nord.

5° Appareils divers.

ASPIRATEUR OU VENTILATEUR NOUALHIER. — Cet appareil, appliqué aux voitures de l'administration des postes, est composé de deux cheminées concentriques, dont l'une, intérieure, plonge dans le wagon, tandis que l'autre, extérieure, présente des ouvertures où s'engouffre l'air par suite de la vitesse; le courant ainsi formé aspire l'air vicié de l'intérieur.

COUVERTURES MOBILES DES WAGONS, SYSTÈME DELANNOY. — La toiture des wagons n'est fixée que suivant la ligne centrale du wagon, et elle est libre de se dilater sur chacun des bords du véhicule : diverses combinaisons font que la couverture est néanmoins étanche.

DYNAMOGRAPHE DE M. HOLTZ. — Cet instrument est une sorte de dynamomètre portatif employé sur la ligne de l'Est prussien pour le contrôle de la marche des trains. Il est d'un petit volume et s'accroche à la traverse du wagon qui suit le tender; un ressort donne les efforts de traction qui sont enregistrés par un crayon sur une bande de papier mu d'un mouvement uniforme par un mécanisme d'horlogerie. Cet appareil n'enregistre pas les distances parcourues.

DOSSIER VI.

1° Freins.

Dans la *section française* nous trouvons plusieurs systèmes de freins :

1° FREIN A EMBRAYAGE ÉLECTRIQUE DE M. ACHARD. — Ce frein, bien connu des ingénieurs, a reçu le prix Monthyon en 1866; il est dit à embrayage électrique parce que la mise en train s'opère par l'intermédiaire d'un courant magnétique.

2° FREIN STILMANT. — Ce frein est basé sur l'action d'un coin formé de deux parties articulées, qui en s'enfonçant écarte les sabots et les fait presser sur les roues. Il est combiné de telle façon que l'angle du coin diminue au fur et à mesure de l'enfoncement, ce qui augmente d'autant la force du serrage, tandis que cet angle, étant assez prononcé au commencement du serrage, amène rapidement les sabots en prise.

Ce frein a reçu de très-nombreuses applications au chemin de fer de l'Est, et est en voie de se répandre dans d'autres compagnies.

3° FREIN TABUTEAU. — Dans ce frein, que la Compagnie du Midi a exposé sur sa voiture mixte, et dont elle possède un certain nombre d'exemplaires en service depuis quelques années, une combinaison de leviers articulés en V est substituée à la vis ou aux engrenages ordinairement employés. Le volant de serrage est remplacé par un grand levier, offrant environ 1m.50 de course à la poignée, et dont la manœuvre est assez prompte et facile.

4° FREIN DORRÉ.—Un petit modèle représentait la modification du frein Guérin imaginée par M. Dorré, et appliquée à un certain nombre de wagons de la Compagnie de l'Est.

5° LE MODÈLE D'UN FREIN A CONTRE-POIDS, de M. Jeannelle.

6° LE MODÈLE D'UN FREIN HÉLICOÏDE, de M. Clément.

7° LE DESSIN D'UN APPAREIL DE M. LAPEYRIE, appliqué au chemin du Nord, et composé d'un ressort à boudin enroulé le long de l'arbre du frein et destiné à augmenter la rapidité du serrage.

Nous n'insisterons pas sur ces quatre dernières dispositions, qui n'étaient présentées à l'Exposition que par des modèles ou des dessins, et sur lesquelles on trouvera d'ailleurs des renseignements dans le dossier spécial (n° VI).

Dans les *expositions étrangères*, nous remarquerons que les freins dont sont munis quelques-unes des voitures sont tous à huit sabots, comme on le verra par les dessins de ces wagons, au dossier n° III. On trouve également sur les freins des wagons prussiens une disposition simple, par laquelle on a voulu limiter le desserrage au nombre de tours nécessaire pour ôter les sabots du contact, de manière que ce même nombre de tours fut juste nécessaire, en sens inverse, pour opérer le serrage; on s'en rendra compte en se reportant au dossier spécial n° VI.

Nous citerons également, en renvoyant au dossier spécial pour les détails, le frein pour chemin à rail central, le frein de détresse système Creamer, le frein automoteur de M. Osimitsch, le frein à vapeur de M. Lucifero, le frein automoteur de M. Conte, et les freins des véhicules du plan incliné de la Croix-Rousse.

2° Communications entre le personnel des trains.

Les voitures et wagons des sections étrangères étaient tous munis de guide-cordes placés sur la toiture, ce qui nous montre que la corde est généralement employée dans ces pays pour établir une communication entre le personnel des trains.

Dans la section française, outre le système Prudhomme, qui vous est connu par les diverses communications faites par MM. Bonnataire et Bricogne, en mai 1866, on trouve une disposition due à M. Joly, qui est actuellement à l'essai à la Compagnie de l'Est, et dans laquelle l'aspiration d'un petit piston, mis à la disposition de la personne qui appelle, se transmet par une suite de tuyaux à une sonnerie placée dans le fourgon. Dans la section anglaise on remarque le système de M. Preece, analogue à celui de M. Prudhomme.

A côté de ces applications nous trouvons les projets de trois autres dispositions, figurant à l'état de modèle et de dessin, et dont nous ne ferons que l'énumération :

1° Miss Alice Gordon : communication électrique des trains entre eux et avec les stations;

2° MM. Morgan et Howarth : communication établie au moyen d'un arbre continu, placé vers la partie supérieure des voitures;

3° Enfin, M. Roch-Chidley permet le passage de wagon à wagon.

3° Ferrures.

M. Delcuve expose, dans la section belge, un tendeur en fer creux, d'un modèle qui n'a pas encore reçu d'application.

Dans la section française, M. Coutant et M. Delettrez avaient exposé diverses pièces de ferrures pour voitures et wagons. Ces pièces étaient faites comme il est prescrit depuis longtemps par les Compagnies à tous les constructeurs de wagons, en évitant autant que possible les encollages, étirant les diverses parties dans une même masse de fer, et les façonnant à l'étampe sous le marteau-pilon.

Les champignons de tampons se font généralement par ce procédé, sans garniture en bois, le côté plat et le côté bombé s'obtenant à la forge. Le chemin de Lyon a mis à l'essai des faux-tampons complétement en fer[1].

Les dimensions des tendeurs ont été successivement augmentées, et l'on est arrivé généralement à la cote de 24 à 25 millimètres, qui est à peine suffisante avec les lourds trains de marchandises de 650 à 700 tonnes sur les lignes à faibles pentes, et de 200 tonnes sur les lignes à pente de 2 centimètres. Le chemin de l'Ouest, dans le but d'éviter les ruptures des tendeurs, emploie des filets de vis arrondis sur l'arète extérieure. (Voir le dessin au dossier VI-3°.)

Un dessin, du même dossier, nous montre la forme et la dimension des crochets de traction adoptés depuis quelques années par la Compagnie de l'Ouest; ils se fabriquent également par tous les con-

1. Ainsi que l'Est actuellement.

structeurs au moyen d'étampes, et suivant le procédé décrit par M. Bricogne dans la note B, du dossier VI-3°.

DOSSIER VII.

1° Graissage.

BOITES DES VOITURES EXPOSÉES. — Dans la *section française*, tous les véhicules de la Compagnie de Lyon, la 2me classe de l'Ouest et un fourgon de l'Est, ont des boîtes à graisse. Les autres véhicules ont des boîtes à huile à tampons inférieurs; pour les chemins du Nord, d'Orléans et du Midi, elles ont un réservoir supérieur, rempli de graisse, et les lumières sont bouchées par un tampon de savon fusible, fondant lorsque la fusée vient à chauffer, et permettant alors à la graisse de venir la refroidir. Pour le chemin de l'Est, il n'y a pas de réservoir supérieur. Cette dernière Compagnie nous offre d'ailleurs une collection assez variée, composée de trois boîtes des systèmes Dietz, Delannoy et Basson. Toutes trois se remplissent par un godet inférieur. Dans la boîte Dietz, l'huile baigne la fusée, il n'y a pas de tampon de graissage, et la fusée porte près de l'essieu une rondelle métallique qui remonte l'huile et la ramène au réservoir principal; dans la boîte Delannoy, il y a un tampon graisseur, et la fermeture du côté de la roue se fait par une sorte de presse-étoupes comprimant une corde; dans la boîte Basson, appliquée aux voitures à impériales fermées, l'huile qui a servi se filtre sur une toile avant de rentrer au réservoir.

La voiture à impériale fermée de M. Vidard, type dit pour chemins départementaux, est munie d'une boîte à rouleaux du système de M. Vidard. C'est un spécimen dont l'emploi ne s'est pas généralisé.

Dans les véhicules des *sections étrangères*, toutes les boîtes sont à huile, et la plupart ont un réservoir inférieur avec tampon et un réservoir supérieur avec mèche. Nous en excepterons :

1° Deux wagons prussiens munis de boîtes Basson, complétement fermées et sans godet d'introduction d'huile; on les démonte pour les visiter et les remplir, environ tous les six mois;

2° Deux wagons belges, munis de la boîte système Gobert, adoptée aux chemins de l'État ainsi que sur diverses lignes de Belgique, et dans laquelle la disposition du tampon rappelle un des arrangements anciens du Nord français;

3° La voiture suisse, où la boîte est à réservoir et tampon inférieurs, avec introduction d'huile par le haut : l'huile se filtre avant de revenir au tampon;

4° Le wagon italien, dont le réservoir supérieur porte une réserve de

graisse, et où la lubrification se fait par un rouleau plongeant dans un réservoir inférieur.

Boîtes exposées isolément. Si nous sortons des véhicules exposés, nous trouvons divers systèmes pour lesquels manque la sanction d'une longue pratique, et qui se lubrifient à l'eau, avec une très-faible interposition de graisse ou d'huile : tels que les boîtes de M. Piret avec hélicoïde ou rondelle à godets au haut de la fusée; de M. Aerts, avec rondelle sans godet, et de M. Haeck, à rouleau graisseur,

Métal des coussinets. Quelques-unes des boîtes prussiennes, ainsi que celles de la voiture suisse, ont un doublage en métal blanc. Une Compagnie américaine, Star Metal Cie, dont le but est la fabrication de coussinets d'un alliage dont elle garde le secret, expose un coussinet et distribue les certificats que son métal, employé comme coussinet, a obtenus dans son pays.

Plusieurs coussinets, formés d'un alliage dans la composition duquel entre le nickel (bronze de nickel), et essayés sur divers chemins français, ont donné de très-bons résultats, comme frottement et comme diminution d'usure du coussinet.

2° Éclairage.

SECTION FRANÇAISE. — Les voitures exposées sont toutes éclairées à l'huile de colza, par des lampes à niveau supérieur (toutefois la Compagnie de Lyon emploie la lampe à niveau inférieur). Les lampes sont placées dans l'axe du toit des voitures, excepté dans la voiture à deux étages de l'Est, où elles sont mises latéralement.

L'exposition de M. Masson nous montre également un fallot de fourgon de l'Ouest qui se place sur le côté gauche, près de la porte de service, et est muni d'un réflecteur à surfaces contournées, de manière à projeter la lumière dans la voiture et sur le casier aux papiers.

MM. Achard et Simon ont exposé un modèle de régulateur d'écoulement de gaz, dont ils proposent l'emploi pour l'application de gaz comprimé à l'éclairage des voitures.

SECTIONS ÉTRANGÈRES.—Les lampes sont assez généralement à réservoir supérieur et avec cheminées en verre. Dans la voiture de poste de l'Est prussien, les lampes sont fixées dans l'axe de la toiture même; elles peuvent être mises en place de l'intérieur de la voiture. Une autre voiture prussienne (Berlin-Stettin) est éclairée à la bougie.

Dans la voiture suisse, la lampe est placée dans les cloisons extrêmes ou intérieures, et disposée de façon que le service se fasse de la plate-forme ou de l'intérieur de la voiture.

La Compagnie de Lyon emploie pour l'éclairage extérieur, c'est-à-dire pour les signaux d'arrière des trains, des lanternes à pétrole que nous trouvons dans l'exposition de M. Masson.

Enfin mentionnons, pour terminer ce chapitre, l'injecteur-lampe de MM. Dezelu et Guillot, destiné au remplissage des lampes de leur système, en évitant les pertes d'huile.

DOSSIER VIII.

1° Essieux montés.

La plupart des objets exposés comme pièces détachées sont des spécimens de fabrication. Nous citerons en première ligne les roues en fer forgé, *système Arbel*; les roues autrichiennes de *Ganz*, et autres, en fonte, coulées en coquilles pour la surface de roulement. On voit en Prusse, outre les roues en fonte de M. *Gruson*, de Magdebourg, les roues en *acier fondu de Krupp*, où un essieu monté se compose de cinq pièces : un essieu, deux roues faisant corps avec leur bandage, et deux clavettes; et enfin les vingt-deux roues en *acier fondu de Bochum,* coulées d'un seul tenant.

Le *Canada* a envoyé quelques roues en fonte avec bandage faisant corps avec la roue ; et la Suède a exposé des roues faites par M. *Zethelius* dans le système anglais Mansell, à secteurs en bois. Ce type de roues est aussi appliqué au petit modèle du wagon-poste exposé dans la section anglaise, et il est d'ailleurs très-employé dans ce pays.

Nature du métal, des essieux et bandages. On peut dire que l'emploi des essieux en acier est encore à l'état d'essai en France ; l'usage des bandages en acier paraît plus répandu, et la Compagnie de l'Ouest n'en emploie même pas d'autres (acier puddlé) pour ses voitures et wagons.

Dans les pays étrangers, on adopte généralement des essieux et bandages en acier. L'acier puddlé se rencontre, mais rarement. En Prusse, les essieux en acier fondu de Krupp ou de Bochum sont très-répandus sur les divers chemins de fer. En Autriche, on en trouve également quelques-uns soit en acier fondu, soit en acier Bessemer. (Voir du reste le tableau mis à la fin du présent rapport.)

Forme des essieux et bandages. L'examen des renseignements et dessins compris au dossier montre que la dimension de $0^m.130$, pour la partie de calage (depuis longtemps adoptée par le Nord), tend à se généraliser. En outre, il a été reconnu avantageux, au point de vue des ruptures, de ne pas faire butter le corps de roue sur le cordon de sûreté. La Compagnie de l'Ouest a diminué le rayon de raccordement de la fusée avec le collet extérieur, améliorant ainsi le service du coussinet, en augmentant

et la surface horizontale et la surface verticale de contact. Le diamètre de la fusée (généralement de 0m.08 en France) a été récemment augmenté et porté à 0m.085 sur le Midi et le Lyon.

Nous croyons devoir attirer l'attention sur le profil du bandage de la Compagnie de l'Ouest, dont la ligne de raccordement entre la partie rectiligne et l'extrémité du boudin paraît présenter sur les autres profils de bandages l'avantage de moins s'écarter, lorsqu'il s'use, des conditions qu'il remplit au sortir du tour. Le dossier que nous examinons (n° VI-20) contient à ce sujet une note très-détaillée, remise par le chemin de l'Ouest.

2° Ressorts.

Parmi les ressorts exposés comme pièces détachées, nous n'avons remarqué que peu de dispositions nouvelles. On trouve toujours chez les Français, les Belges et les Allemands, des ressorts pour locomotives ou wagons peu cintrés et de grande longueur. Chez les Anglais, au contraire, l'habitude est de donner le plus souvent aux ressorts une forme excessivement cintrée; quelquefois cependant ils sont presque plats, très-allongés, et l'extrémité recourbée de façon à donner au ressort une sorte de forme d'arc antique.

On trouve également exposées toutes les formes de ressorts en spirale, soit en volute; ce dernier est très-employé en Allemagne.

L'exposition de MM. Petin, Gaudet nous montrait un nouveau type de ressorts formés de rondelles plates très-aplaties et inventés par M. Belleville. Enfin nous devons mentionner des ressorts à boudins bourrés de laine, ressorts d'origine américaine et exposés par M. Thomson. On trouvera réunies dans un tableau annexé au dossier VIII les conditions d'établissement de quelques-uns des ressorts de choc, de traction, ou de suspension.

Dans les voitures exposées par la Hollande et la Suisse, on remarque des lames d'acier laminées avec une nervure au milieu, de sorte que les feuilles se superposant pour ainsi dire à rainure et à languette, tout déplacement latéral est ainsi évité sans l'emploi des étoquiaux.

En se reportant au dessin de la voiture suisse, compris dans le dossier n° III, on verra : 1° que les extrémités des ressorts affectent la forme recourbée signalée plus haut pour les ressorts anglais; et 2° que l'on a interposé un petit ressort spiral entre le grand ressort et la main de suspension.

Dans la section autrichienne, nous voyons le ressort de suspension remplacé par quatre ou trois volutes, portées sur un balancier dont le milieu forme un couteau reposant sur la boîte à graisse (dessin d'un wagon du Kaiserin-Élisabeth-bahn, et dessin d'un wagon à houille du Ferdinand-Nordbahn, dossier n° III.)

RÉSUMÉ

de l'énumération générale (ou bordereau) des pièces composant les dossiers de la 20e Section.

L'énumération générale contenue dans les tableaux est faite en laissant chaque dossier tel que l'a composé la répartition du travail adoptée dans la première séance de la 20e Section; — mais pour le présent *résumé* nous allons adopter un autre classement, en vue de faciliter les recherches.

Dossiers généraux de la Section (2 dossiers).

Bordereau général des pièces des dossiers (c'est le présent bordereau),	Dossier 0.
Rapport de la 20e Section à la Société des Ingénieurs civils.......	Dossier 00.
Procès-verbaux des séances de la 20e Section, correspondance, etc.	Dossier 00.

Dossiers de renseignements sur le matériel roulant (8 dossiers).

Voitures à voyageurs exposées dans la section française..........	Dossier I.
Voitures à voyageurs exposées dans les sections étrangères.......	Dossiers II, III et IV.
Wagons à marchandises exposés dans la section française........	Dossiers II et V.
Wagons à marchandises exposés dans les sections étrangères......	Dossiers III et IV.
Freins..	Dossier VI.
Communications entre le personnel dans les trains..............	Dossier VI.
Graissage...	Dossier VII.
Éclairage...	Dossier VII.
Essieux montés..	Dossier VIII.
Ressorts..	Dossier VIII.
Ferrures de wagons......................................	Dossier VI.
Objets divers...	Dossiers IV et V.

Bordereau général des pièces du Dossier de la 20e Section.

MATÉRIEL ROULANT DES CHEMINS DE FER, SAUF LES LOCOMOTIVES.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS NATIONALITÉS.	EXPOSANTS NOMS.
Dossier 0.		
Bordereau général des pièces des dossiers (présent bordereau).	»	»
Dossier 00.		
a Rapport fait à la Société des ingénieurs civils, au nom de la 20e section : indiquant le travail fait et les principaux renseignements recueillis, et suivi d'un tableau général de dimensions.	»	»
b Procès-verbaux des séances de la 20e section. Correspondance, liste d'examen, etc.	»	»
c Liste de renseignements publiés sur le matériel roulant exposé.	»	»
Dossier I[1]. — M. Benoit-Duportail.		
Ce dossier comprend un résumé général et une collection de dessins et renseignements.		
Voitures de la section française.		
Partie I. — *Résumé général* des renseignements obtenus sur les voitures françaises, par M. Benoit-Duportail. (*Une notice.*)	»	»
Partie II. — *Renseignements obtenus sur les voitures françaises.*		
A. Voitures de la Compagnie de l'Est.		
a Considérations générales, par M. Vuillemin.		
b Tableau des principales dimensions.		
c 1re Classe à coupé-lit. (*Dessins d'ensemble et coupes à* 1/10.)	France.	Cie de l'Est.
d 2e Classe. (*Dessins d'ensemble et coupes à* 1/10.)	Id.	Bonnefond.
e 3e Classe. (*Dessins d'ensemble et coupes à* 1/10.)	Id.	Delettrez.
f Voiture mixte à impériales fermées (système Vidard) (*Dessins imprimés, élévation et coupes à* 1/10).	Id.	Cie de l'Est.
B. Voitures à impériales fermées, pour chemins départementaux (système Vidard). *4 brochures de M. Vidard.*	Id.	Vidard.

1. Ces numéros et les lettres correspondent aux subdivisions des chemises des dossiers.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
C. Voitures de la Compagnie d'Orléans.		
a 1re Classe.	France.	Cie d'Orléans.
(*Une notice, un dessin au* 1/10.)		
b 3e Classe.	Id.	Bonnefond.
(*Un dessin au* 1/10.)		
D. Voiture mixte de la Compagnie du Midi, avec frein système Tabuteau.	Id.	Cie du Midi.
(2 *dessins d'ensemble à* 1/10, *un dessin au* 1/20.		
E. 2e Classe à frein de la Compagnie de l'Ouest.	Id.	Delettrez.
(4 *dessins d'ensemble de la voiture et du frein, à* 1/10.)		
F. 1re Classe de la Compagnie du Nord.	Id.	Delettrez.
(*Un dessin à* 1/10, *et un tableau des principales dimensions.*)		
G. Voiture de 1re classe du Mont-Cenis (chemin Fell).	Id.	Chevalier-Cheylus.
(*Renvoi au dessin du dossier* VI-I.)		
H. Voiture de 1re classe à coupé-lit, de Paris-Lyon-Méditerranée.	Id.	Chevalier-Cheylus.
(1 *notice et* 2 *calques au crayon.*)		
I et K. Véhicules du chemin de Lyon à la Croix-Rousse, et wagon-poste.	Id.	Molinos et Pronnier
(*Renvoi à diverses publications*).	Id.	Chevalier-Cheylus.
PARTIE III. *Renseignements sur le matériel français non exposé.*		
A. Nomenclature des voitures et wagons de la Compagnie d'Orléans.	»	»
B. Nomenclature des voitures et wagons de la Compagnie du Midi.	»	»
C. Nomenclature des voitures et wagons de la Compagnie de l'Ouest.	»	»
D. Nomenclature des voitures et wagons de la Compagnie de Lyon.	»	»
E. Tableau de dimensions de quelques wagons du Nord.	»	»
F. Dessins de la voiture de 1re classe du Midi.	»	»
G. — — de 2e — —	»	»
H. — — de 3e — —	»	»
I. — — de 2e classe d'Orléans.	»	»
Dossier II. — M. Henri Mathieu.		
Ce dossier comprend une notice générale renvoyant aux dessins annexés et les expliquant.		
Wagons de la section française et véhicules de la Grande-Bretagne, des États-Unis et du Canada.		
PARTIES I, II et III. — 1° Texte, divisé en 2 paragraphes : A wagons français, et B véhicules de la Grande-Bretagne, des États-Unis et du Canada; 2° dessins relatifs au § A; 3° dessins relatifs au § B.	»	»
A. Wagons à marchandises et fourgons français.		

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
a Fourgon de la Compagnie de l'Est, à frein Achard.	France.	Achard et Cie.
a Fourgon de la Compagnie de l'Est, pour marchandises, à frein Stilmant.	Id.	Est et Stilmant.
b Wagon à châssis brisé, à 16 tonnes (système Vidard). Constructeur M. Gargan. (*2 dessins au* 1/10 *imprimés* A*b*, *partie* II.)	Id.	Vidard.
c Fourgon à messagerie, à six roues, de P.-L.-M. (*3 dessins au* 1/10, *partie* II, A*c*.)	Id.	Cie P.-L.-M.
d Wagon à houille à châssis en fer et frein à vis, de P.-L.-M. Constructeur La Buire. (*2 dessins au* 1/10, 1 *dessin*, *partie* II A*d*.)	Id.	Cie P.-L.-M.
e Wagon pour houillères, construit par l'exposant.	Id.	Chevalier-Cheylus.
B. Véhicules de la Grande-Bretagne, des États-Unis et du Canada.		
f Modèle de bureau ambulant, avec échange des dépêches en marche. (*Un croquis*, *partie* III B*f*.)	Gde-Bretagne	Post-Office.
g Modèle de wagon-ambulance. (*Un dessin* B*g*, *partie* III.)	États-Unis.	Sanitary Commission.
h Modèle de wagon-dortoir. (*Un dessin* B*h*, *partie* III.)	Canada.	Gt Trunk Railway.
PARTIE IV. — *Tableaux des principales conditions d'établissement du matériel roulant exposé.*		
1 *Dimensions principales des voitures à voyageurs.*	»	»
2 *Dimensions principales des wagons à marchandises.*	»	»
3 *Prix, poids et chargements des véhicules exposés.*	»	»
4 *Poids et prix des voitures par place offerte.*	»	»
5 *Dimensions principales d'essieux montés.*	»	»
Dossier III. — MM. Vuillemin, Dorré, et M. le colonel fédéral Veret pour la voiture suisse.		
Dans ce dossier la notice générale est un très-court résumé, et chaque article a sa notice spéciale rédigée par les auteurs du dossier.		
Voitures et wagons des Pays-Bas, de la Prusse, de l'Autriche, de la Suisse et de l'Italie.		
PARTIE I. — Considérations générales sur les véhicules exposés par divers pays étrangers.	»	»
PARTIE II. — *Véhicules à voyageurs.*		
A. Voiture mixte de la Société d'exploitation des chemins de fer de l'État hollandais, construite dans les ateliers de la Société, à Damlust, faubourg d'Utrecht. (*Une notice*, 1 *dessin au* 1/10.)	Pays-Bas	Société d'exploitation des lignes de l'État. — Ateliers de Damlust, près Utrecht.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
B. Voiture mixte de la Compagnie du chemin de fer royal-néerlandais. *(Une notice, une lettre du constructeur, un dessin-photographie. — 3 autres dessins relatifs à divers véhicules.)*	Pays-Bas.	Beijnes, constructeur à Harlem.
C. Voiture poste de l'Est-prussien, munie de l'appareil de prise des lettres sans arrêt du train. *(Un calque d'ensemble au 1/10, un dessin autographié de l'appareil d'échange, et une traduction de la légende de ce dessin.)*	Prusse.	Société de construction pour le matériel des chemins de fer, à Berlin.
D. Voiture mixte avec cabinets W.-C. pour la Compagnie Berlin-Settin. *(Une notice comprenant un plan au 1/10.)*	Id.	Id.
E. Voiture mixte avec cabinets W.-C, pour la ligne de Halle-Cassel. *(Une notice comprenant un plan au 1/10.)*	Id.	Id.
F. Voiture mixte ordinaire de Halle-Cassel. *(Une notice.)*	Saxe.	Lüders à Görlitz, Saxe.
G. Voiture mixte (2e et 3e classes) du Nord-Est-Suisse. *(Une notice, 3 lettres de renseignements, 2 dessins à l'échelle de 1/10, 2 dessins de dispositions d'autres wagons.)*	Suisse.	Société de construction de Neuhausen près Schaffhouse.
PARTIE III. — *Wagons.*		
A. Fourgon de la Société d'exploitation des chemins de fer de l'État hollandais. *(Une notice, un dessin d'ensemble au 1/10.)*	Pays-Bas.	Société d'exploitation des lignes de l'État. — Ateliers de Damlust, près Utrecht.
B. Wagon à houille, tout en fer. *(Un dessin au 1/8, une lettre de M. Schmidt, une notice.)*	Prusse.	Schmidt, à Breslau.
C. Wagon à houille, tout en fer. *(Une notice, une élévation au 1/8.)*	Id.	Ruffert, à Breslau.
D. Wagon à houille, à caisse en bois, pour la Compagnie Bergische-Märkische. *(Une notice.)*	Id.	Carl Veyer, à Dusseldorf.
E. Wagon couvert, pour la ligne de Halle-Cassel. *(Une notice.)*	Saxe.	Lüders, à Görlitz, Saxe.
F. Wagon-grue pour accompagner les trains. *(Une notice comprenant une petite vue photographique.)*	Prusse.	Van der Zypen et Charlier, à Cologne.
G. Wagon couvert (exposé en dessin), pour le Kn Élisabeth-Bahn. *(Une notice, un dessin au 1/20.)*	Autriche.	Kaiserin-Élisabeth-Bahn.
H. Perfectionnements aux wagons (dessins), par M. Osimitch. *(Deux dessins.)*	Autriche.	W. Osimitch, à Pola
I. Wagon à houille (exposé en dessin), pour le Nord-autrichien. *(Une notice avec un croquis).*	Autriche.	K. Ferdinand-Nord-Bahn.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
J. Wagon couvert pour les chemins romains. (*Une notice sur le wagon, une notice sur les ateliers de Florence.*)	Italie.	Chemins romains; Section Nord. Ateliers de Florence.
Dossier IV. — M. Banderali.		
Véhicules de la Belgique et objets divers.		
PARTIE I. — Véhicules de la Belgique.		
A. Voiture mixte à voyageurs. (*2 dessins autographiés et une notice.*)	Belgique.	Société belge pour la construction du matériel de chemins de fer. Ch. Évrard, directeur.
B. Wagon couvert, tout en fer. (*Un dessin au 1/10.*) (*Se reporter à la notice ci-dessus.*)	Belgique.	Id.
PARTIE II. — *Objets divers.*		
A. Dynamographe de M. Holtz. (*Une notice en allemand, une traduction de cette notice, un dessin de l'appareil, et des tracés graphiques.*)	Prusse.	Chemin de fer de l'Est prussien.
B. Couvertures mobiles de M. Delannoy, pour les wagons. (*Une notice, un grand dessin.*)	France.	M. Delannoy.
C. Aspirateur de M. Nouailhier. (*Un prospectus comprenant le dessin de l'appareil.*)	Id.	M. Nouailhier.
Dossier V. — M. Lecorbellier.		
Wagons de terrassements et tricycles.		
PARTIE I. — Wagons et wagonnets de terrassements, système Suc-Chanvin. (*Une notice, par M. Lecorbellier, et des prospectus avec dessins.*)	France.	Suc-Chanvin.
PARTIE II.—Tricycles et appareils divers de M. Balans. (*Une notice, par M. Lecorbellier; — une notice imprimée de M. Balans, contenant des dessins de ses appareils.*)	Id.	Balans.
Dossier VI. — M. Bricogne.		
Dans ce dossier chaque article a fait l'objet d'une notice spéciale de l'auteur du dossier.		
Freins. — Communications entre le personnel des trains. — Ferrures.		

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
PARTIE I. — *Freins,*		
d Frein Stilmant. (*Une notice, une photographie-dessin, — 4 dessins imprimés d'applications diverses.*)	France.	Stilmant et Cie.
b Embrayage électrique de M. Achard. (*Une notice, un dessin au 1/20.*)	Id.	Achard et Cie.
c Perfectionnement au frein Guérin. (*Une notice, un dessin au 1/10.*)	Id.	Dorré.
d Appareil de serrage, système Lapeyrie. (*Une notice accompagnée d'un croquis.*)	Id.	Lapeyrie.
e Appareil de serrage, système Tabuteau. (*Une notice, — un dessin d'application à la voiture mixte du Midi, 2 autres dessins de l'appareil.*)	Id.	Tabuteau, et Cie du Midi.
f Appareil régulateur du desserrage. (*Une notice comprenant un croquis.*)	Prusse.	Divers wagons.
g Freins pour chemins à rail central. (*Une notice avec croquis, — un dessin au 1/10 du wagon exposé par MM. Chevalier et Cheylus.*)	France.	Fell et Cie.
h. Frein de détresse. (*Une notice avec croquis, un dessin imprimé au 1/20.*)	États-Unis.	Creamer.
i Frein hélicoïdal. (*Une notice, — un dessin au 1/10.*)	France.	Clément.
j Frein à contre-poids et frein automoteur. (*Une notice, — 2 dessins au 1/10.*)	Id.	Jeannelle.
k Frein automoteur. (*Une notice, avec croquis, — un dessin imprimé.*)	Autriche.	W. Osimitch, à Pola
l Frein à vapeur. (*Une notice avec croquis.*)	Italie.	Lucifero.
m Frein automoteur. (*Une notice, un dessin avec légende.*)	Id.	Conte.
n Frein des véhicules du plan incliné de la Croix-Rousse. (*Renvoi aux publications spéciales.*)	France.	Molinos et Pronnier
PARTIE II.—*Communication entre le personnel dans les trains.*		
a Communication électrique. (*Une notice, une brochure de M. Tronquoy.*)	Id.	Prudhomme.
b Pile électrique. (*Une notice, un prospectus avec dessin, une brochure.*)	Id.	Leclanché.
c Communication pneumatique. (*Une notice, une note et un dessin imprimé.*)	Id.	Joly et Chevalier-Cheylus.
d Communication électrique. (*Une notice comprenant un croquis.*)	Gde-Bretagne	Preece.
e Communication électrique. (*Une notice.*)	Id.	Miss Gordon.
PARTIE III. — *Ferrures.*		
a Tendeurs creux, système Gobert. (*Une notice, — une note de l'exposant.*)	Belgique.	Nicaise et Delcuve.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS NATIONALITÉS.	EXPOSANTS NOMS.
b Ferrures pour wagons. (*Une notice comprenant des croquis.*)	France.	Coutant à Ivry.
c Ferrures pour wagons. (*Une notice, une note de l'exposant.*)	Id.	Delettres.
d Types de ferrures de la Cie de l'Ouest. (*3 planches de dessins autographiés donnant les tendeurs, crochets, chaînes de sûreté et tampons.*)	Id.	»
Dossier VII. — M. Ameline.		
Ce dossier comprend, pour chaque partie, un résumé général expliquant les dessins annexés au dossier.		
Graissage. — Éclairage.		
PARTIE I. — *Graissage.*		
A. Considérations générales sur l'Exposition, par M. Ameline.	»	»
B. Boîte à graisse ordinaire. (*Un dessin autographié.*)	France.	Chemin de l'Ouest.
C. Boîte à huile pour wagons (système Delannoy). (*Un dessin imprimé.*)	Id.	Delannoy.
D. Boîte à huile pour wagonnets, par M. Delannoy. (*Un dessin imprimé.*)	Id.	Delannoy.
E. Boîte à huile des wagons à marchandises de l'Est (système Dietz). (*Un dessin imprimé.*)	Id.	Dietz et Cie de l'Est.
F. Boîte à huile des voitures à impériales fermées de l'Est (système Basson). (*Un dessin, grandeur d'exécution.*)	Id.	Cie de l'Est.
G. Boîte à huile de la Cie du Nord. (*Un dessin, grandeur d'exécution.*)	Id.	Voiture de 1re classe exposée.
H. Boîte à huile des chemins belges, système Gobert. (*Une lettre de M. Gobert, des dessins d'applications diverses.*)	Belgique.	Gobert et wagons de M. Évrard.
I. Boîte à eau. (*Un dessin imprimé, avec légende.*)	Id.	Aërts.
J. Boîte à eau à hélicoïde. (*Une lettre et 4 prospectus et dessins.*)	Id. et France.	Piret.
K. Boîte à huile du Nord-Est-Suisse. (*Un dessin, grandeur d'exécution.*)	Suisse.	Voiture de la Société de Neuhausen.
L. Métal de doublage pour boîtes à graisse. (*Une brochure.*)	États-Unis.	Star-Metal Cie.
PARTIE II. — *Éclairage.*		
A. Considérations générales sur l'éclairage à l'Exposition, par M. Ameline.	»	»
B. Appareils d'éclairage de M. Chatel. (*Une notice imprimée avec dessins.*)	France.	Chatel.
C. Appareils d'éclairage à l'huile et au pétrole, de M. Masson. (*Dessins et notice imprimée.*)	Id.	Masson.

PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	EXPOSANTS	
	NATIONALITÉS.	NOMS.
Appareils d'éclairage, de M. Luchaire. (*Dessins imprimés.*)	France.	Luchaire.
D. Injecteur-lampe de MM. Dezelu et Guillot. (*Un dessin avec légende.*)	Id.	Dezelu et Guillot.
E. Régulateur à gaz. (*Un croquis de l'appareil.*)	Id.	Achard et Simon.
F. Appareils d'éclairage au pétrole. (*Une notice, plusieurs dessins et prospectus, et une lettre du directeur du chemin Rhénan.*)	Prusse.	Berghausen.
Dossier VIII. — M. J. Morandière.		
Essieux montés. — Ressorts.		
PARTIE I. — *Roues. — Essieux et Bandages.*		
A. Considérations générales sur les essieux montés à l'Exposition.	»	»
B. Tableau de dimensions d'essieux montés.	Divers.	Divers.
C. Essieux des chemins français de l'Ouest, par M. Mayer. (*Une notice et un dessin annexé.*)	»	»
D. Forme des bandages de la Cie de l'Ouest, par M. Mayer. (*Une notice et un dessin annexé.*)	»	»
E. Essieux des divers chemins français. (*Un grand dessin.*)	»	»
F. Essieu monté de la Cie de l'Ouest. (*Un grand dessin imprimé.*)	»	»
G. Profils des bandages du Nord. (*Deux dessins.*)	»	»
PARTIE II. — *Ressorts.*		
a Considérations générales sur les ressorts à l'Exposition.	»	»
b Tableau des principales conditions d'établissement de divers ressorts de suspension, de choc ou de traction.	Divers.	Divers.
c Rondelles Belleville. (*Une brochure, extraite des Mémoires de la Société.*)	France.	Belleville.

... des dimensions principales de quelques essieux exposés comme pièces détachées [1].

NATIONALITÉS des EXPOSANTS.	PROVENANCE DES ESSIEUX.	ESSIEUX. DIAMÈTRE à la portée de calage.	DIAMÈTRE au corps.	FUSÉE. DIAMÈTRE.	FUSÉE. LONGUEUR.	NATURE DU MÉTAL.	BANDAGES. DIAMÈTRE extérieur au roulement.	NATURE DU MÉTAL.	CORPS DE ROUES. INDICATION DE LA NATURE ET DE LA FO[RME] DU CORPS DE ROUE.
France...	Fourchambault. (Chemins russes.) (Corps de roue seulement.)	»	»	»	»	»	»	»	Centre à rayons soudés à la jante, enti[èrement] en fer forgé. Roue en étoile.
France...	Fourchambault. Essieu monté....	0.127	0.110	0.085	0.170	Fer.	0.93	Fer.	Moyeu en fonte. Rais en fer.
France...	Verdié et Cie....................	0.115	0.110	0.075	0.160	Fer.	0.93	Fer.	Moyeu en fonte. Rais en fer.
Belgique.	Société d'Ougrée	0.120	»	0.08	0.175	»	1.00	»	Moyeu en fonte. Rais en fer.
Prusse...	Haute Silésie (Oberschlesische)....	0.125	0.118	0.08	0.150	Acier puddlé.	0.965	Acier puddlé.	Moyeu en fer et rais soudés à la ja[nte]. Forme en étoile.
Prusse...	Krupp (Chemin rhénan.).........	0.125	0.115	0.09	0.150	Acier fondu.	0.975	Acier fondu.	Moyeu en fer et rais soudés à la ja[nte]. Forme en étoile.
Prusse...	Krupp. »	0.120	0.110	0.08	0.140	Acier fondu.	0.940	Acier fondu.	Roue à centre plein de profil ondulé. B[an]dage faisant corps avec la roue.
Prusse...	Hoerde (Coln-Minden)...........	0.130	0.120	0.08	0.140	Acier Bessemer.	0.970	Acier Bessemer.	Roue à centre plein de profil ondulé. B[an]dage faisant corps avec la roue.
Prusse...	Hoerde. »	0.117	0.107	0.075	0.150	Acier Bessemer.	0.980	Acier Bessemer.	Roue à centre plein. Bandage relié au p[la]teau par des agrafes de chaque cô[té].
Suède....	Zéthelius (État suédois)..........	0.125 / 0.132	0.115	0.09	0.175	Acier puddlé.	0.925	Acier puddlé.	Segments en bois sur un moyeu en fo[nte]. Le bandage est agrafé.
Suède...	Zéthelius. id...............	0.125 / 0.130	0.115	0.09	0.175	Acier puddlé.	0.925	Acier puddlé.	Moyeu en fonte. Rayons en fer.

1. Pour les essieux des véhicules exposés, voir les tableaux 1 et 2.

RAPPORT DE LA 21[e] SECTION

CHARGÉE D'ÉTUDIER

LE

MATÉRIEL DE TRACTION DES CHEMINS DE FER

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867[1]

En remettant entre les mains de M. le Président de la Société des Ingénieurs civils le travail des membres de la 21[e] section sur les produits de l'Exposition universelle de 1867 qu'elle avait la mission d'examiner, M. Vuillemin, Président de la Société, faisait accompagner ce dépôt de a lettre suivante :

Monsieur le Président,

Une Commission a été instituée l'année dernière par le Bureau de la Société pour recueillir des renseignements sur les divers machines et appareils composant la classe 63 de l'Exposition universelle de 1867.

Cette Commission s'est réunie plusieurs fois sous ma présidence; les membres qui ont assisté à ces réunions sont :

MM. Vuillemin, président; Bonnet, secrétaire; Boutmy, Benoist Duportail, Chobrzynski, Delannoy, Dieudonné, Forquenot, Gambaro, Goschler, Larpent, Lencauchez, Loyd, Mathieu (Henri), Mayer (Ernest), Morandière (Jules), Ribail.

De nombreux documents et dessins des objets exposés ont été recueillis par les membres de la Commission : — la plupart des exposants se sont empressés de nous transmettre les renseignements qui leur ont été demandés.

1. Le programme de la 21[e] section était le suivant :

CLASSE 63. — MATÉRIEL DE TRACTION.

Machines et tenders.

Machines spéciales et outillage des ateliers d'entretien, de réparation et de construction du matériel.

Matériel et machines pour plans inclinés et plans automoteurs; matériel et machines pour chemins de fer athmosphériques; modèles de machines de systèmes de traction d'appareils relatifs aux voies ferrées.

La classe 63 comprenait trente-trois locomotives, plusieurs appareils divers et un grand nombre de projets de machines et de tableaux.

Les trente-trois locomotives exposées se répartissent ainsi entre les divers pays :

France	14	Grand-duché de Bade	1
Angleterre	5	Wurtemberg	1
Belgique	5	Bavière	1
Autriche	3	Amérique	1
Prusse	2		

Jamais pareil nombre de ces puissants moteurs n'avait figuré dans aucune exposition. L'ensemble est remarquable par la variété des types, où l'on trouve des machines depuis deux jusqu'à six essieux accouplés ; et par la puissance de quelques-uns d'entre eux, puissance motivée par l'importance du trafic, ou par les fortes rampes des lignes que ces machines sont appelées à desservir. — C'est en France, surtout, où le transport des marchandises a acquis un si grand développement, que les plus fortes locomotives ont reçu la plus large application ; — le nombre de machines ayant plus de trois essieux accouplés employées sur les lignes françaises dépassait déjà 250 en 1867, et il s'accroît chaque jour.

Quoique cinq ans seulement nous séparent de la dernière Exposition universelle, déjà si remarquable à tant de titres, l'ensemble des machines exposées en 1867 dénote encore de grands progrès, soit dans les appareils de vaporisation, soit dans le mécanisme, dans le choix des matériels et dans l'agencement général du système.

Un mémoire très-développé sur les machines et appareils exposés et sur les perfectionnements réalisés, a été rédigé par M. Bonnet, secrétaire de la Commission, et présente le résultat des discussions qui ont eu lieu dans les réunions de la Commission.

J'ai l'honneur, monsieur le Président, de remettre entre vos mains tous les documents, plans, dessins, gravures et photographies qui ont été rassemblés par la Commission, ainsi que le mémoire rédigé par M. Bonnet, son secrétaire, à qui je me fais un plaisir d'adresser, au nom de la Commission, les plus vifs remercîments pour les soins et le temps qu'il a bien voulu consacrer à cet important travail.

Veuillez agréer, monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments les plus dévoués.

VUILLEMIN,
Président de la 21e Section.

Paris, le 17 juillet 1868.

MÉMOIRE ANALYTIQUE

SUR LE

MATÉRIEL DE TRACTION DES CHEMINS DE FER

PRÉSENTÉ

À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

Résumant les études et les discussions des membres de la 21e Section

PAR M. FÉLIX BONNET

SECRÉTAIRE RAPPORTEUR

LOCOMOTIVES ET TENDERS.

COUP D'ŒIL SUR LES TYPES EXPOSÉS.

L'étude des locomotives et appareils de locomotion à vapeur sur voies de terre qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1867, fait ressortir deux courants d'idées et de faits, opposés en apparence, mais qui sont évidemment solidaires des mêmes causes et des mêmes besoins : c'est-à-dire, de l'augmentation incessante du trafic, de la jonction, devenue indispensable, du système de réseaux demeurés jusqu'ici séparés par les chaînes de montagnes; enfin du développement du réseau général et de ceux de deuxième et de troisième ordre, jusqu'aux limites où doivent commencer les ramifications vicinales, le dernier réseau, qui a reçu en quelques points un commencement d'exécution.

L'un des deux courants, et c'est sans comparaison le plus important, nous montre, d'une part, l'augmentation sans cesse croissante de la puissance des locomotives, ou mieux, du nombre des puissantes machines, principalement des machines pour trains de marchandises et de montagne.

D'autre part, on voit la construction de machines de plus en plus petites: plus petites et plus légères qu'à aucune autre époque, même à l'origine des chemins de fer. Ce sont des machines pour l'exploitation des chemins

vicinaux ou d'intérêt local · machines de mines, de gares, d'entrepreneurs, etc., destinées à circuler sur des voies de 1 mèt. 50, ou de moindre écartement; mais en tous cas, sur des rails de faible poids.

Dans ce même ordre d'idées, on voit aussi reparaître les locomotives-routières sous un grand nombre de formes, et avec quelques-unes des améliorations fournies par l'expérience de l'industrie actuelle.

Les grandes lignes du réseau principal, commencé le premier, il y a bientôt quarante ans, devaient relier les centres éloignés les plus importants. Leur tracé naturel était de suivre le fond des grandes vallées; et l'on s'était imposé l'obligation de ne franchir les points de partage qu'à l'aide de rampes de quatre à cinq millimètres. Dans cette première période, les tronçons étaient relativement courts; leurs débouchés n'avaient pas encore acquis un grand développement, et les machines d'un faible poids étaient suffisantes pour satisfaire à un trafic restreint comme tonnage et comme vitesse, et sur de faibles rampes.

A mesure que les tronçons se sont allongés, qu'ils se sont complétés en se rejoignant, que les lignes tributaires de deuxième et de troisième ordre sont venues faire affluer sur les lignes principales le contingent de leurs marchandises et de leurs voyageurs, on a senti de plus en plus le besoin de charger les trains de toute nature, pour ne pas trop en augmenter le nombre, et éviter les encombrements et les accidents; d'augmenter la vitesse pour faire franchir plus vite aux voyageurs, aux dépêches, aux messageries, la grande distance des points extrêmes; enfin, de modifier les profils, à mesure que l'on pénétrait plus avant dans les pays de montagnes.

C'est ainsi que l'on a été conduit à augmenter la puissance de presque tous les types de machines, principalement des machines à roues accouplées, jusqu'au point où nous les voyons aujourd'hui parvenues.

Machines a roues libres. — L'exposition prouve que le système des machines à roues libres est presque délaissé; ce genre de machines, en effet, n'y figure plus que pour le service des trains express. Et nous voyons plusieurs grandes compagnies développer de plus en plus le système de l'accouplement des machines express, pour parvenir à conserver leur vitesse usuelle, sur des rampes et avec des charges toujours croissantes.

Nous rappelons à ce propos que les anciennes machines à roues libres, en beaucoup de circonstances, sont abandonnées ou transformées progressivement en machines mixtes, dont on augmente en même temps la puissance autant que cela est possible.

Machines mixtes. — Les machines mixtes pour trains de voyageurs ont subi, comme tous les autres types de machines, un accroissement de puissance, mais qui n'a pas eu cependant de grandes variations; et les

types de l'Exposition n'accusent pas une différence bien sensible avec ceux qui étaient déjà en pleine pratique il y a dix ou douze ans. — C'est que les premières machines en usage ont été à peu près exclusivement du système à roues libres. La machine mixte est venue ensuite, puis celle à trois essieux accouplés, qui s'est généralisée bien plus vite que la locomotive mixte. L'emploi de celle-ci n'est devenu usuel que plus tard; et, dès lors, elle a reçu les perfectionnements et les accroissements qui avaient été successivement appliqués à ses devancières.

Machines a deux essieux. — Nous signalons une tendance marquée à revenir au système de locomotives à deux essieux seulement, et à deux essieux accouplés. Ainsi sur trente-trois machines exposées, six d'entre elles sont ainsi construites.

Nous trouvons parmi elles le type du plus petit modèle, pour l'application aux chemins vicinaux, de mines, etc., à voie de 1m.50, ou à petite voie; et aussi des machines puissantes (Krauss, Graffenstaden), destinées à la voie de 1m.50, pesant jusqu'à treize tonnes par essieu; pour arriver ainsi à des machines relativement plus légères, et passant plus facilement dans les courbes, tout en conservant une puissance à peu près égale à celle des machines mixtes de force usuelle, et pouvant être appropriées aux mêmes services qu'elles.

Machines-tender. — Elles sont représentées par un grand nombre de spécimens de types et de formes très-variés, et elles composent environ le tiers des machines exposées. On remarquera qu'à l'exception de la puissante machine belge de Saint-Léonard, dont l'avant repose sur un truck à pivot à quatre roues libres, toutes ces locomotives ont la totalité de leurs roues accouplées, à deux, trois, quatre, cinq ou six essieux : ce sont proprement des machines à marchandises; cinq d'entre elles sont à quatre roues; mais sur ce nombre il n'y en a réellement qu'une seule, celle de Krauss, qui, par la grandeur du diamètre de ses roues (et la machine badoise de Graffenstaden est dans ce cas), puisse être regardée comme une machine mixte, c'est-à-dire applicable à des trains de voyageurs. Les quatre autres, Carels, Hughes, Proctor et Creusot, sont de petites machines de gare ou d'usine, qui pourront bien, accidentellement, avoir à traîner quelques voitures à voyageurs, comme font parfois les machines à marchandises; mais qui, par leur accouplement, et le petit diamètre de leurs roues, appartiennent plutôt à la série des marchandises.

L'exposition ne contient pas de machines-tender à roues libres; type qui n'a été réalisé que très-rarement, et qui n'a guère été appliqué, que nous sachions, que comme transformation.

L'île ne contient pas non plus de machines-tender mixtes à six roues, dont deux porteuses et quatre roues accouplées. — Ce type, qui est assez fréquent, et qui a été pratiqué de bonne heure, n'a également été appli-

qué le plus souvent que comme transformation de machines à roues libres, plus ou moins anciennes, et relativement peu puissantes.

Les machines-tender sont ordinairement consacrées à des services locaux, ou à l'exploitation de lignes de faible parcours. Cependant, parmi elles, nous en trouvons plusieurs types au Champ de Mars, entre autres la machine à quatre cylindres du Nord, qui sont disposés pour accomplir les plus longs trajets.

L'établissement des chemins de fer vicinaux du dernier réseau a reçu déjà, comme nous l'avons dit, un commencement d'exécution sur quelques points du territoire. La condition indispensable de leur construction est d'être, avant tout, des chemins de fer à bon marché; et, par conséquent, être construits et exploités dans des conditions nouvelles de simplicité : fortes rampes, courbes de faible rayon, voie unique, empruntant au besoin les routes de terre actuelles, avec écartement de rails de 1m. 50, ou en dessous, et à rails légers, dont le poids maximum serait fixé, par exemple, à la résistance suffisante pour être accessibles aux gros wagons ordinaires à marchandises, soit du poids brut de quinze tonnes; réglant ainsi le poids maximum des machines par essieu à sept tonnes ou à sept tonnes et demie.

Ce nouvel ordre d'idées semble entrer de plus en plus dans la pratique, car l'Exposition contient des types de machine d'une exiguïté inconnue jusqu'à ce jour. Toutes ces locomotives appartiennent encore au genre des machines-tender, à six et à quatre roues couplées, depuis la machine de gare pour voie de 1m.50 (Carels, Couillet), jusqu'aux plus minimes.

A cet égard, rien ne saurait être comparé à la petite locomotive, type Blanzy, exposée par le Creusot : belle et sérieuse miniature à quatre roues de la grosse machine-tender à six roues, exposée aussi par le Creusot. Cette petite locomotive ne présente d'ailleurs aucune disposition nouvelle ni spéciale, et semble avoir été exécutée selon le programme classique, et avec tous les perfectionnements qui servent de base à la construction du matériel ordinaire.

Machines a marchandises. — Nous arrivons enfin aux machines à marchandises, qui sont, sans comparaison, la partie la plus importante de l'exposition, soit par la diversité, la force et la nouveauté des types, soit par leur nombre, qui est d'au moins la moitié des machines exposées. — C'est surtout parmi elles que nous trouvons l'augmentation générale de puissance; non pas que l'on ait grandement dépassé la force et le poids des machines qui ont fait leur apparition dès 1856 (type Engerth), desquelles l'adhérence, c'est-à-dire l'effort de traction dont elles sont susceptibles, est celui qui correspond à la résistance de sécurité des attelages actuels du matériel wagon qui existe en France, soit même en Europe, et que l'on renforçait déjà à cette époque.

Mais, s'il n'y a pas à l'Exposition de machine notablement plus puis-

sante que l'Engerth de 1856, en revanche, on y trouve une phalange de ces gigantesques locomotives, le quart environ de l'effectif, toutes d'un type différent, à une exception près. Ce sont : la machine Saint-Léonard, à cinq essieux, dont trois à roues accouplées ; la machine Sigl, à huit roues couplées, laquelle, avec quelques petites modifications de peu d'importance, pourrait rouler sur la voie générale de $1^m.50$; Steïerdorf, à dix roues accouplées, à châssis et à accouplements articulés, la même qui figurait à Londres en 1862 ; en France, les deux machines à huit roues accouplées du Midi et du Nord ; la machine à tender moteur de l'Est, système Verpilleux ; la locomotive à quatre cylindres et à douze roues accouplées du Nord ; et enfin, celle à dix roues accouplées d'Orléans.

Entre ces puissantes locomotives et les petites machines-tender, dont nous avons parlé, l'Exposition nous offre quatre modèles de machines ordinaires à six roues accouplées (compris la machine-tender du Creusot), de puissance équivalente en moyenne, — même, dirions-nous un peu supérieure, — à celle de nos types français du Bourbonnais.

Tenders. — Les tenders qui ont été présentés au concours de 1867 étaient au nombre de six, en dehors des machines-tender. Dans la disposition de ces appareils, nous n'avons remarqué aucune innovation importante. Leur construction s'est améliorée surtout par les perfectionnements survenus dans la fabrication et dans la qualité des métaux. Ainsi, l'industrie métallurgique livre aujourd'hui des tôles d'une dimension telle que chacune des parois des caisses à eau peut être faite d'une seule pièce, ce qui est certainement un avantage sérieux.

L'ancienne manière de fabriquer les longerons des tenders, chacun avec deux tôles minces jumelles, entretoisées avec du bois ou des pièces de fonte, disparaît de plus en plus, pour faire place au longeron unique découpé avec les plaques de garde dans une tôle épaisse, comme sont les longerons des machines. Nous voyons aussi apparaître le brancard en fer à double T, avec plaques de gardes rapportées, comme cela se fait pour la construction des wagons : tel est le tender badois exposé par l'usine de Graffenstaden.

Le tender moteur de la machine de l'Est, à part l'appareil moteur, qui n'offre en lui-même aucune disposition particulière, ne donne lieu, comme tender, à aucune mention spéciale.

Le tender américain, à huit roues et à deux trucks mobiles, n'est, lui aussi, que la reproduction d'une disposition déjà fort ancienne, soit comme application aux tenders, soit comme application aux wagons.

Le tender de la machine Steïerdorf, partie intégrante de la locomotive, a été décrit souvent, et nous ne voyons rien à ajouter à ces descriptions, que l'on retrouvera dans le dossier Steïerdorf.

Le tender à six roues, exposé par le Creusot pour le Great-Northern

n'a de spécial que sa suspension mixte en ressorts d'acier et rondelles de caoutchouc, semblable à celle de la locomotive; disposition qui, selon nous, est un progrès contestable.

Enfin, le tender Borsig ne diffère que peu ou point du modèle suivi depuis fort longtemps déjà par ce constructeur. Cependant il présente une particularité qui mérite d'être mentionnée : les tôles de l'intérieur de la caisse à eau sont en cuivre, ce qui permet d'espérer une durée plus longue, et une dépense d'entretien moindre qu'avec la tôle de fer, qui se détruit si rapidement, surtout dans la partie inférieure.

DISPOSITIONS SPÉCIALES ET APPAREILS NOUVEAUX APPLIQUÉS AUX MACHINES LOCOMOTIVES DE L'EXPOSITION.

Nous avons maintenant à passer en revue les dispositions nouvelles qui se rapportent à la constitution générale des machines; les appareils nouveaux dont les fonctions diverses doivent concourir à leur bonne marche; les progrès qui ont été réalisés dans la construction des pièces détachées et dans la fabrication des matières premières.

Nous ne trouverons, en 1867, aucune invention aussi éclatante, aussi radicale que fut celle de l'injecteur Giffard, en 1862, qui a apporté une amélioration si considérable dans la régularité du service de traction et dans les dépenses d'entretien, et qui a valu à son auteur une célébrité et une fortune justement méritées. — En faisant disparaître les pompes, sauf les cas spéciaux, cet utile appareil, quoique inférieur à quelques égards, a contribué pour la plus grande part, concurremment avec ses devanciers le piston suédois, et la substitution de la houille crue au coke dans les foyers de locomotives, à rendre extrêmement rares les détresses de route, du fait des machines.

La plupart des progrès que nous allons signaler, et les plus importants sont du nombre, ne sont pas précisément des innovations; ils consistent presque tous dans l'application hardie et générale de dispositions ou d'idées plus ou moins anciennes, mais qui n'avaient jusqu'à présent été employées que d'une manière relativement défectueuse, restreinte, ou même, à titre d'essai.

CHAUDIÈRE.

ESSIEUX SOUS LE FOYER DES MACHINES. — L'un des faits remarquables que présente l'Exposition dans la construction des machines, est, selon nous, l'essor rapide qu'a prise la disposition qui consiste à placer directement sous le foyer un ou plusieurs essieux, et plus généralement l'essieu d'arrière pour les locomotives à six et à huit roues. Cette dispo-

sition si simple avait bien déjà été appliquée avant 1862. Nous citerons par exemple la transformation exécutée en 1857 sur le South-Eastern railway par Cudworth ; et les types américains de Baldwin et Cie, de Philadelphie, antérieurs à 1860; qui sont décrits dans l'ouvrage publié en 1860 par Kinnear Clarck et L. Colburn. Dans ces deux cas, l'essieu d'arrière était placé immédiatement sous la grille.

Nous citerons encore la machine à quatre essieux dite forte-rampe, construite en 1858 par le chemin de fer du Nord, essentiellement différente des précédentes : ce n'est plus l'essieu d'arrière seulement qui est placé sous la grille ; — mais bien essieux, roues, boîtes à graisse, ressorts, châssis, mouvement, etc.; en un mot, le caractère distinctif de cette application a été d'installer, sur une plate-forme supérieure aux appareils moteur et propulseur, une chaudière dont la largeur et la longueur fussent indépendantes du châssis, du mouvement et des roues, et dont la position sur la plate-forme, combinée avec celles des soutes à eau et à combustible, se fit à la demande de la répartition de la charge sur les roues. — Cette disposition originale n'a pas été imitée par d'autres ingénieurs; mais depuis lors, le Nord l'a mise en usage pour la construction de ces puissantes locomotives à quatre cylindres pour trains express et à marchandises que tout le monde connaît, qui ont figuré, la premiere à l'Exposition de Londres en 1862, la deuxième au Champ de Mars en 1867.

Mais ces applications, quoique sérieuses et concluantes, sont restées des faits isolés, et la disposition en question n'a pas été adoptée de suite par les ingénieurs. — C'est ainsi que, postérieurement au découplement des machines Engerth d'avec leur tender, commencé en 1859 par la Compagnie de l'Est, les chemins du Midi, d'Orléans, du Nord de l'Espagne, etc., ont construit des machines à huit roues accouplées, aussi puissantes que l'Engerth, dont le foyer est entièrement en porte-à-faux sur l'essieu d'arrière; — placer un essieu sous la grille était une disposition, hier encore, réputée dangereuse, inacceptable, qui choquait toutes les idées reçues, consacrées par quarante années d'expérience. On ne concevait pas que l'essieu d'arrière pût être placé autrement qu'en avant ou en arrière du foyer. Dans le premier cas, il n'était pas possible d'allonger un foyer en porte-à-faux sur l'essieu d'arrière sans surcharger celui-ci. Dans le deuxième cas, on sait combien la répartition de la charge sur les trois essieux est détestable, que l'essieu d'arrière ne porte presque rien, en outre de son poids, à l'exception des machines-tender et que les machines ainsi construites sont par le fait des locomotives à quatre roues, que leurs chaudières sont très-courtes relativement au grand écartement de leurs roues extrêmes, et qu'on ne saurait allonger leur foyer sans aggraver ce dernier inconvénient.

Aujourd'hui, on ne se préoccupera plus de savoir si l'essieu d'arrière doit se trouver sous le foyer. La répartition des essieux sous la machine se fera pour le mieux de la répartition de la charge sur les roues, et les

indépendamment de la position des essieux. — Sur trente-trois locomotives, l'Exposition en contient treize de toutes grandeurs et de tous les types qui sont ainsi disposées, et elles nous prouvent par là qu'ingénieurs et constructeurs sont entrés largement dans la voie nouvelle.

Cette amélioration fait faire un grand pas dans l'art de construire les locomotives, en permettant d'appliquer aux plus puissantes machines, comme aux plus petites, à six ou à quatre roues, des foyers et des grilles de dimensions inusitées, qui sont l'âme de la production, c'est-à-dire de la puissance des machines. C'est, nous le répétons, un des progrès les plus sérieux que nous ayons à enregistrer.

Emploi de la menue houille pour le chauffage des locomotives. — La possibilité d'obtenir une grille de surface considérable, dont la longueur n'est limitée que par la commodité du chargement et du nettoyage, n'a pas seulement pour effet d'augmenter la puissance des machines, conjointement avec l'augmentation correspondante de la surface de chauffe des foyers, et à égalité dans la qualité des combustibles. Une autre conséquence de cette augmentation de la grille est de permettre l'emploi des combustibles menus, satisfaisant à certaines conditions, et que la dimension limitée des grilles anciennes ne permettait pas d'utiliser pour l'alimentation des locomotives, à peine de réduire la puissance d'une manière importante. La surface des grilles doit être augmentée dans une grande proportion, variable selon la qualité des menus dont on dispose, pour que la production d'une chaudière ne soit pas diminuée, toutes choses égales.

Ceci fait ressortir encore toute l'importance du placement de l'essieu d'arrière sous le foyer. Il en résulte pour les machines anciennes qui peuvent être transformées successivement et sans de trop grands frais, non moins que pour les machines neuves, soit une augmentation de puissance, si l'on persiste à employer des charbons de bonne qualité, soit une économie considérable dans les frais d'exploitation, si on recourt à des charbons menus, et en s'en tenant à la puissance primitive des machines.

La Belgique est entrée pleinement dans ce mode de construction; les cinq locomotives qu'elle a présentées au Champ de Mars sont toutes disposées avec l'essieu d'arrière sous le foyer, et munies de grilles énormes du système Belpaire, pour l'emploi des menues houilles, et l'on sait qu'une partie importante du matériel belge est ainsi disposée. — Il en est de même de la grosse machine à douze roues accouplées, exposée par la Compagnie du Nord. — Les machines à tender moteur pour l'exploitation des profils à rampes fortes et accidentées, exposées par la Compagnie de l'Est et celle d'Orléans, ont été disposées de la même manière, mais plutôt dans le but d'acquérir de la puissance.

puissance des machines est, comme nous l'avons fait voir, un des caractères principaux qui distingue l'Exposition de 1867. Cette situation se trouve réalisée, non-seulement par l'accroissement de la surface de chauffe générale, et surtout de la surface de chauffe du foyer, par celle de la grille, et conséquemment par l'accroissement du poids des chaudières et des machines; mais encore par l'élévation toujours croissante du timbre des chaudières.

L'emploi de la vapeur, dans les machines en général, et principalement dans celles sans condensation, est, comme on sait, d'autant plus avantageux que la pression de la vapeur est plus élevée. On obtient ainsi un travail donné avec un poids moindre de vapeur et de combustible; ou encore, on obtient un travail plus grand avec une production de vapeur déterminée.

A ce point de vue, l'unanimité des ingénieurs est générale. Nous voyons toutes les machines atteindre des timbres jusqu'alors inconnus ou rarement appliqués. Cette extension dans la pression usuelle est la conséquence de besoins nouveaux, et elle a été rendue possible par les améliorations survenues dans la fabrication des tôles de fer et d'acier, sur laquelle nous aurons à revenir.

Augmentation du diamètre des chaudières. — L'Exposition présente une innovation remarquable. Jusqu'à présent, le diamètre du corps cylindrique de $1^m.50$ n'avait jamais été dépassé. En France, ce diamètre, admis pour la première fois dans la construction des machines Engerth, est un maximum qui est resté stationnaire, ainsi que le maximum de quinze millimètres pour l'épaisseur des tôles de fer. — Le décret du 25 janvier 1865, se basant sur les progrès accomplis dans la fabrication des tôles et des matières, est venu modifier dans un sens libéral la réglementation administrative, et rendre à chacun toute liberté de construire, *sous sa responsabilité*, des chaudières timbrées à telle pression, et construites avec des tôles en tels matériaux et de l'épaisseur qui lui conviendraient.

Or, au delà de 4 mètres environ, on n'augmente plus sensiblement la production de vapeur en allongeant les tubes, mais bien en augmentant leur nombre, c'est-à-dire le diamètre du corps cylindrique. — C'est la Compagnie d'Orléans qui a donné l'exemple, et qui, la première, s'est décidée à dépasser le diamètre de $1^m.50$: la chaudière de sa machine à cinq essieux accouplés est du diamètre de $1^m.60$, et a été exécutée en tôle d'acier de 10 millimètres d'épaisseur pour un timbre de 9 kilogrammes.

Matières employées pour la construction des chaudières. — L'analyse des faits relatifs aux chaudières des locomotives nous amène

tout naturellement à parler des matériaux employés pour leur construction.

Cuivres pour foyers. — Nous dirons peu de chose des plaques de cuivre pour foyers. — Sous le rapport de l'originalité et de la perfection des formes de certaines pièces, l'Exposition laisse peu à désirer; mais c'est là un côté de la question peu important, en comparaison de la qualité des matières, et malheureusement on ne peut guère juger la qualité des cuivres employés pour foyers qu'après un long usage.

Nous rappellerons à ce sujet que, vers 1853, cette fabrication est tout à coup déchue, d'excellente qu'elle était; ainsi, des foyers construits avant 1853, avec les bons cuivres d'alors, sont encore en service aujourd'hui; tandis que les suivants ont dû être, pour la plupart, déjà remplacés depuis longtemps. Depuis quelques années, la fabrication est redevenue meilleure, mais les cuivres actuels n'ont pas encore recouvré la bonne qualité des anciennes matières.

Tubes. — Le laiton est toujours le métal le plus généralement employé pour la fabrication des tubes. Cependant quelques ingénieurs emploient les tubes de fer.

Le diamètre le plus généralement suivi est toujours celui de 49 à 50 millimètres. Quelques machines présentent des diamètres différents.

L'épaisseur des tubes n'a été augmentée que peu ou point, nonobstant l'élévation du timbre des chaudières. Il est vrai que l'amincissement des tubes est bien moins rapide que par le passé depuis que la houille a presque partout remplacé le coke, et conséquemment leur durée et leur maintien en bon état sont bien plus grands.

Tôles de fer et d'acier. — Les tôles de fer et d'acier employées à la confection des chaudières accusent des progrès très-importants. Les observations que l'on peut faire sur ces deux natures de produits sont de deux sortes : d'une part, celles qui se rapportent aux formes et aux dimensions des feuilles de métal, et qui concernent aussi bien la tôle de fer que celle d'acier; d'autre part, celles qui regardent la qualité des matières et leur fabrication.

Dimensions extraordinaires des tôles. — Les moyens mécaniques de fabrication sont aujourd'hui si puissants, que l'industrie peut livrer des feuilles de tôle de dimensions en quelque sorte illimitées par rapport à celles qui sont nécessaires pour la chaudronnerie des locomotives. Les viroles des corps cylindriques se font en des feuilles d'une seule longueur, et conséquemment avec une seule clouure longitudinale, que l'on alterne à droite et à gauche d'une virole sur la suivante. — Les enveloppes de foyer, si longues qu'elles soient, peuvent également se faire en une seule feuille

moins nombreuses, des formes plus rationnelles pour la résistance aux efforts intérieurs.

La grande dimension des tôles, dont nous venons de parler, n'exclut pas les fortes épaisseurs, comme celle de quinze millimètres consacrée par l'usage, ou même des épaisseurs plus grandes encore.

VIROLES SANS CLOUURE. — TÔLES A BORDS ÉPAIS. — La section anglaise présente deux innovations assez curieuses qui appartiennent toutes deux à l'Exposition des forges de Low-Moor, et dont le but est de réduire le poids mort de la chaudière, c'est-à-dire de la machine, à solidité égale. Ce sont : 1° des feuilles de tôle de forme quelconque, dont le bord a une surépaisseur calculée pour laisser entre les intervalles des trous de rivets, une section de métal égale à celle de la pleine tôle. Cette construction impose l'obligation d'employer des tôles dont les dimensions sont fixées d'avance. — 2° Des viroles pour corps cylindrique, laminées circulairement et qui, par conséquent, n'ont pas de clouure longitudinale. Ces viroles peuvent être fabriquées d'une seule pièce sur une longueur qui atteint 1m.50 environ.

On obtient, par l'un et l'autre procédé, une réduction d'épaisseur et de poids qui est à peu près proportionnelle au rapport entre le diamètre du trou des rivets et l'intervalle de deux trous consécutifs. Cette réduction est plus complète avec les viroles sans rivures longitudinales qu'avec les feuilles à bords surépaissis.

Mais les deux méthodes présentent le même inconvénient, qui est de ne pas pouvoir, en cas de réparation, percer de trous pour la rivure d'une pièce dans les parties de la pleine tôle d'épaisseur réduite, et de forcer au remplacement complet des viroles ou des feuilles avariées.

Malgré cette objection, on comprend tout le parti que l'on peut tirer de l'emploi de l'un ou de l'autre système, dans le cas où une légèreté exceptionnelle serait une condition de rigueur.

La machine anglaise de Kitson est construite avec des tôles à bords surépaissis.

QUALITÉ DES TÔLES. — Les deux qualités principales que l'on recherche dans les tôles de fer pour la fabrication des chaudières sont : une grande ténacité, c'est-à-dire la force ; et la malléabilité, la douceur, pour recevoir sans altération les formes convenables. Ces deux conditions sont également nécessaires pour les tôles au bois, et pour celles affinées à la houille, qui sont l'une et l'autre employées à la confection des chaudières. — Tous les échantillons éprouvés qui sont à l'Exposition dans les deux catégories de tôles démontrent, qu'en général, les conditions de force et de malléabilité sont suffisamment remplies. Cependant nous n'osons pas dire qu'il

rivées depuis longtemps à un degré de perfection qui n'a point subi de fluctuation comme les cuivres; par la raison qu'il est toujours possible de vérifier sur-le-champ les qualités précitées des tôles; lesquelles sont impérieusement exigées, sans relâchement, par la sécurité publique sous le contrôle de l'Administration; et aussi, parce que le timbre des chaudières allant toujours en augmentant, la fabrication est obligée de se soutenir et de fournir des tôles toujours plus résistantes.

Tôles non corroyées de Borsig. — La maison Borsig, de Berlin, expose un produit nouveau de peu d'apparence, qui, peut-être, est resté inaperçu de bien des visiteurs, et qui semble appelé à introduire une amélioration considérable par la préparation, dans la texture et dans la qualité, non-seulement des tôles de fer, mais de toute pièce de forge. Nous voulons parler de ces massiaux, pesant jusqu'à onze cents kilogrammes, obtenus par le cinglage d'une seule boule de puddlage, et qui peuvent fournir des pièces finies brutes de forge du poids de huit à neuf cents kilogrammes. Les pièces ainsi obtenues sont bien mieux soudées, et ont une homogénéité dont sont dépourvues celles que l'on prépare au moyen de paquets réchauffés et soudés au marteau. Cette imperfection dans le soudage des lopins a pour conséquence le feuilletage qui se produit dans la plupart des tôles, surtout celles entièrement au bois. Les tôles obtenues par le procédé de puddlage, qui permet à M. Borsig de cingler des loupes de onze cents kilogrammes, ont une homogénéité plus grande, et le défaut que nous venons de signaler se trouve atténué d'une manière importante.

Tôles d'acier. — C'est surtout dans l'emploi de la tôle d'acier fondu que résident les plus grands progrès réalisés dans l'art de la chaudronnerie à vapeur. Nous avons dit que dans le but d'augmenter toujours davantage la puissance des machines, on accroissait aussi le timbre et le diamètre des chaudières, et conséquemment leur épaisseur, et qu'ainsi on était amené à rechercher les tôles les plus résistantes. Mais cette résistance, qui ne se trouve qu'avec les tôles de la meilleure qualité, est encore trop limitée, et tout en obligeant à des épaisseurs et à des poids considérables, on ne pourrait aller au delà. On a donc songé à recourir à l'emploi de l'acier fondu, qui a une résistance d'au moins moitié plus grande que celle des fers de bonne qualité, et qui offre une latitude nouvelle, soit pour la diminution des poids, soit pour l'accroissement de puissance.

La présence des chaudières en acier à l'Exposition n'est pas précisément une nouveauté, mais ce qui est nouveau, c'est le développement qu'a reçu leur application depuis peu d'années, et qui prend tous les jours de plus grandes proportions. On se rappelle qu'elles parurent vers

essai. La loi de 1843 qui réglementait l'établissement des chaudières à vapeur n'avait pas prévu l'emploi de l'acier, et l'épaisseur de ce métal se déterminait par les mêmes formules, était la même que celle des tôles de fer, dans les mêmes circonstances, nonobstant sa plus grande résistance. La circulaire ministérielle du 26 juillet 1861, qui accordait une réduction sur les épaisseurs prévues pour le fer, en considération des perfectionnements accomplis dans la fabrication de l'acier fondu obtenu soit par les procédés ordinaires, soit par les procédés de Krupp, de Bessemer, etc., a modifié la situation : elle a engagé les ingénieurs à profiter des avantages résultant de l'emploi de l'acier; à multiplier les essais et les applications; à exiger des usines productrices de l'acier des efforts soutenus pour approprier leur fabrication aux besoins nouveaux, et arriver à une uniformité de produits, la plus grande possible.

L'Exposition des locomotives est riche en chaudières d'acier, et elle prouve que toutes les nations européennes se sont à peu près également avancées dans l'étude de ce problème important, à la solution duquel sont attachés de si grands avantages.

L'acier fondu trouve naturellement sa place dans les chaudières de locomotives pour l'exécution des fermes du ciel des foyers, des armatures de la plaque tubulaire de la boîte à fumée, et de la plaque d'arrière du foyer. Les rivets de toute la clouure se font aussi en acier.

Parmi les parties accessoires, ou dispositions spéciales à la construction des chaudières, nous citerons :

1° Entretoises perforées. — Les entretoises de foyer perforées, s'ouvrant soit dans la face intérieure du foyer, soit sur la partie extérieure, dans le but d'accuser immédiatement la rupture des entretoises.

2° Foyer a parois ondulées. — Les foyers à parois intérieures ondulées de la machine Krauss, dans la prévision de diminuer les effets de tiraillement des entretoises, et de certaines parties du foyer, qui résultent de la différence de dilatation entre le foyer intérieur et l'enveloppe extérieure.

3° Entretoisement du ciel des grands foyers. — L'armature du ciel des foyers, par un entretoisement analogue à celui des parois latérales, avec le dôme qui est plat et horizontal, ou à peu près. Toutes les machines à grille Belpaire sont dans ce cas.

Le ciel des longs foyers s'entretoise encore par des armatures transversales reliées au dôme de la chaudière par des bielles articulées, et qui reposent par leurs extrémités sur des appuis rivés longitudinalement contre la chaudière.

4° Grilles Belpaire. — Les grilles de grande dimension et à barreaux

dont nous avons parlé plus haut.

5° Appareils fumivores. — Les appareils fumivores des différents systèmes, que nous énumérons simplement, renvoyant pour plus de détails aux communications qui ont été faites à la Société des ingénieurs civils, à différentes époques. Ce sont, à l'étranger (Angleterre), le système très-répandu d'une voûte inclinée en briques, s'appuyant sur la plaque tubulaire au-dessous des tubes et sur les parois latérales, combinée avec un rabat en forme de pelle, placé en dessus de la porte de charge du foyer, qui est entre-bâillée. En France, l'appareil Tenbrinck, l'appareil Bonnet, simplification du précédent, et l'appareil Thierry.

6° Plaques autoclaves pour le nettoyage. — L'addition, très-répandue d'une ou de deux plaques autoclaves d'environ 15 à 18 centimètres sur 25, placées à la partie inférieure du corps cylindrique, l'une vers l'avant, l'autre à 50 centimètres environ du foyer, dont le but est de procurer un bon moyen de lavage.

7° Bouchons de nettoyage au niveau du ciel du foyer. — L'addition de bouchons de lavage placés à l'arrière du foyer ou sur les flancs, un peu au-dessus du niveau du ciel du foyer, pour favoriser le départ des agglomérations de tartre qui se déposent entre les armatures du ciel.

8° Cheminées coniques. — L'emploi des cheminées légèrement coniques, divergentes vers leur extrémité supérieure, qui sont appliquées à neuf des machines étrangères. Elles sont presque toujours dépourvues de chapiteaux.

Toutes les cheminées des machines françaises sont cylindriques, sauf une seule, mais qui est destinée à l'Angleterre.

9° Échappement. — La plupart des machines étrangères sont dépourvues de l'échappement variable, qui ne se trouve que sur cinq d'entre elles. En France, au contraire, la majorité des locomotives est garnie d'un échappement variable : sur quatorze machines, quatre seulement ont un échappement fixe, dont deux sont destinées à l'étranger, la machine du Creusot Great-Eastern et la machine Badoise ; les deux autres appartiennent à la Compagnie du Nord, et sont des machines à marchandises. Les locomotives étrangères, pourvues de l'échappement fixe, sont indifféremment des machines à voyageurs, ou des machines à marchandises.

10° Souffleur. — On ne trouve pour ainsi dire plus de locomotive qui ne soit pourvue de cet utile auxiliaire, aussi efficace que simple, peu encombrant et peu coûteux.

complétement, par un ou plusieurs volets fixes ou mobiles, convenablement disposés; et cendrier ouvert, soit l'absence complète de cendrier (machines Hughes, Commentry, Blanzy, Creusot), soit un cendrier ouvert inférieurement et en avant, soit un cendrier fermé de toutes parts, sauf en un seul point, ordinairement à l'avant, mais dépourvu de tout moyen de fermeture.

La plupart des machines étrangères sont pourvues de cendriers fermés, et ce sont ordinairement les machines dont l'échappement est fixe, le tirage se réglant par la graduation de l'ouverture du cendrier.

En France, ce sont les cendriers ouverts qui sont en majorité, et ils correspondent presque constamment à des machines dont l'échappement est variable.

Chaque ingénieur, chaque constructeur modifie et dispose selon les besoins et selon ses idées, l'arrangement, la forme des différents appareils accessoires de la chaudière, tels que régulateur, soupapes et balances, manomètre, niveau, sifflet, robinetterie, etc. Parmi les mille dispositions que l'on peut constater à l'Exposition, nous n'avons rien remarqué qui puisse faire l'objet d'une mention importante.

Injecteur Giffard. — Cependant nous ne quitterons pas les chaudières sans dire quelques mots de l'injecteur Giffard. Cette découverte mémorable, exécutée pour la première fois d'une manière industrielle en 1859, avait déjà en 1862 à moitié détrôné les pompes, surtout en France. En 1867, la substitution est générale, à part quelques ingénieurs qui persistent à préférer les pompes d'une manière exclusive, ou à part quelques cas particuliers.

L'injecteur se trouve à l'Exposition sous des formes très-variées, mais nous croyons qu'aucune de ces transformations n'est une amélioration bien intéressante de la disposition initiale donnée par Giffard lui-même. Au plus, citerons-nous : 1° la modification Turck qui permet, paraît-il, d'injecter de l'eau chaude d'une température de quelques degrés plus élevée qu'on ne peut le faire avec les autres dispositions; 2° la modification Shaw, dans laquelle l'injecteur simplifié est placé au-dessous du niveau inférieur du tender, et immédiatement après la rotule. Toutes les pièces de l'injecteur sont rendues fixes, et il est mis en fonction uniquement par le jeu des deux robinets d'eau froide et de vapeur. Le mérite de cette transformation réside dans une simplification très-notable.

APPAREIL MOTEUR.

L'appareil moteur des locomotives exposées donne lieu aux remarques suivantes que nous allons énumérer :

Distribution Walshaerts. — La distribution du système Walshaërts, à un seul excentrique, est appliquée à trois des machines envoyées par la Belgique. Nous ne faisons pas la description de cette distribution qui a été l'objet de communications antérieures faites à la Société des ingénieurs civils.

Coulisse rectiligne Allen. — La coulisse rectiligne Allen est appliquée à un grand nombre des machines exposées. Ce système, qui a été également décrit, simplifie un peu les distributions, et surtout l'exécution des coulisses.

Manivelles a moyeux-fusée. — La disposition de manivelle calée à l'extrémité des essieux, et dont le moyeu pénètre dans les boîtes à graisse pour y servir de fusée; disposition qui, par le peu d'épaisseur du bras de manivelle, permet un grand rapprochement des cylindres et facilite l'emploi simultané de cylindres et de longerons extérieurs, et qui figure à l'Exposition sous la dénomination de *système Hall*, n'est pas une nouveauté.

En effet, depuis fort longtemps, les cylindres extérieurs montés sur longerons extérieurs avaient été mis en pratique par Allan et par Forester, en Angleterre; et par J.-J. Meyer, alors directeur de la Société l'Expansion, en France. M. Meyer établit en outre (voir dossier 12, Sigl) que l'idée et l'application première des manivelles en question n'appartiennent pas à M. Hall, et il en revendique la priorité.

Cylindres en acier fondu. — Les forges de Bochum montrent un cylindre de locomotive, entièrement en acier fondu. Le moulage de cette pièce paraît en tous points équivalent à celui des pièces de fonte les mieux venues, et ne laisse pour l'extérieur rien à désirer.

Les cylindres en fonte donnent de très-beaux frottements quand les fontes sont convenablement choisies, et il est douteux que l'acier, sous ce rapport, puisse convenir mieux que la fonte. Mais les cylindres en fonte sont lourds, comparés à ceux que l'on pourrait obtenir avec l'acier, à résistance égale; ou bien, à poids égal, il paraît certain que des cylindres d'acier auraient une résistance bien supérieure à ceux de fonte. Or, on sait combien ces derniers sont fragiles, malgré leur épaisseur, et combien les ruptures de cylindres sont fréquentes. Le remplacement qui est le plus souvent la conséquence de cet accident est une grande réparation, qui occasionne toujours de grands frais, et un chômage prolongé.

L'acier dont le degré de fusion est bien plus élevé que celui de la fonte, se comportera-t-il d'une manière analogue, en refroidissant dans les moules? Donnera-t-il un métal d'une texture et d'une homogénéité convenables? Les frottements de l'acier, à la température de la vapeur, vaudront-ils ceux de la fonte? La solidité que l'on en attend sera-t-elle

réelle et compensera-t-elle la différence des prix? — Il nous semble que la valeur de cette innovation ne peut pas être jugée *à priori*, et ne pourrait être sanctionnée que par une expérience prolongée.

MÉTAL ANTIFRICTION. — La substitution du métal blanc, dit antifriction ou régule, aux frottements de bronze, est devenue générale. Son application à la plus grande partie des machines de l'Exposition démontre clairement que cette nouvelle matière est désormais acquise à l'industrie. Quelques-uns l'admettent *in extenso;* le plus grand nombre en fait un usage plus ou moins complet, concurremment avec le bronze.

Le régule s'applique sur le bronze et sur le fer, parfois sur la fonte: la majeure partie des pièces exposées sont en fer régulé, ce qui, selon nous, est la vraie méthode. — La composition de cet alliage varie selon les ingénieurs. Il se compose ordinairement d'antimoine, de plomb ou d'étain, et de cuivre; les proportions de chacun de ces métaux varient selon la fonction des pièces de friction; et pour une même fonction, ces proportions varient encore selon les ingénieurs, il n'y a pas de règle bien déterminée.

Les pièces que l'on garnit de régule dans les locomotives sont les tiroirs, les colliers d'excentriques, les glissières des pistons, les coussinets de bielles, et quelquefois aussi les coussinets de boîtes à graisse et les presse-étoupes des tiges de pistons.

PIÈCES DU MÉCANISME EN ACIER FONDU. — L'acier fondu prend un rôle de plus en plus important pour la confection des pièces du mouvement et principalement des bielles motrices et d'accouplement. On sait combien il est désirable que toutes les pièces en mouvement aient la plus grande légèreté possible, au point de vue de la stabilité de la machine en mouvement, tout en conservant une solidité indispensable. — Déjà le piston suédois, à la fois si simple, si léger, si solide, avait procuré un allégement notable du poids de l'attirail, tout en prolongeant la durée des cylindres, et abaissant énormément les frais d'entretien des pistons.

L'usage des bielles d'acier, minces et légères, n'est pas nouveau; mais le grand nombre des applications qui sont à l'Exposition démontre que cet emploi de l'acier se répand de plus en plus. — Tout ce que nous avons dit de la qualité et de l'abaissement du prix de l'acier fondu, en parlant des tôles d'acier de chaudronnerie, convient également aux aciers fondus, aux aciers Bessemer, etc., pour la construction des pièces de machines qui exigent légèreté et solidité, comme bielles, essieux, longerons et autres pièces. Nous rappellerons ici, qu'en Allemagne et en Suisse cette manière de construire était déjà en usage en 1855.

MOUVEMENT DE DISTRIBUTION EXTÉRIEUR. — Nous mentionnons enfin la tendance à transporter à l'extérieur tout le mouvement de distribution de

tel qu'il a été pratiqué pour la première fois dans les machines Crampton. Sur trente-trois locomotives, il y en a neuf dont le mouvement de distribution est extérieur.

APPAREIL PROPULSEUR ET DE SUPPORT.

Nous avons reproduit à grands traits les particularités les plus saillantes de l'appareil de vaporisation, producteur de la force et de la puissance des machines, et de l'appareil moteur. Nous avons encore à étudier l'appareil propulseur et de support, autrement dit le châssis et les roues.

Déjà en parlant des chaudières nous avons fait ressortir la grande extension qu'a prise le placement de l'essieu d'arrière sous le foyer. Cette disposition concerne bien aussi le châssis, mais les conséquences intéressent surtout la chaudière, et c'est pour cela, et à cause de sa grande importance, que nous en avons parlé tout d'abord. Nous ne reviendrons pas davantage sur cette question, et nous examinerons successivement les améliorations qui concernent le châssis et les roues.

Roues Arbel. — Nous citerons en première ligne la roue de M. Arbel, dont la fabrication nous a semblé pouvoir être regardée comme la fabrication mère des procédés actuels, Nous croyons donc utile de résumer dans une description succincte les détails de cette fabrication.

Après avoir préparé un cercle ou jante formé d'une barre droite cintrée et soudée au préalable, puis divisée par des encoches qui marquent la place des bras; après avoir rapporté les bras, préparés convenablement à la forge et à l'étampe, dans leur position respective, et en les tenant au centre légèrement soulevés en forme de cône; après avoir maçonné en fer puddlé ordinaire, et à leur place respective, le moyeu, la manivelle et le contre-poids, le tout ensemble est porté dans un immense four à réchauffer de forme spéciale, et chauffé au blanc. Au moment venu, la roue est amenée dans une demi-matrice, qui est l'enclume du marteau, l'autre demi-matrice étant la panne du marteau. Au premier coup, les rais, soulevés comme nous l'avons dit, sont renfoncés et refoulés du centre vers la circonférence, ce qui les presse contre la jante et les force à se souder avec elle. Ce premier coup est suivi de deux autres seulement, quelquefois trois. Toutes les parties se soudent en se moulant par la compression de la matière dans les creux des étampes; puis la roue est retirée de la matrice. Les bavures très-épaisses sont ébarbées grossièrement et le plus vite possible, à la tranche. La roue est retournée sens dessus dessous; les parties où il peut manquer du fer sont rechargées, puis la roue est reportée au four et chauffée à blanc une deuxième fois pour recevoir une deuxième volée de trois coups de pilon. Les roues de

grand diamètre, après un deuxième ébarbage des bavures qui sont plus minces que la première fois, sont encore retournées et réchauffées pour recevoir un troisième cinglage de trois coups, après lesquels la roue est finie de forge. Elle reçoit un troisième et dernier ébarbage et refroidit lentement. Enfin le moyeu et la jante sont dégrossis et alésés au tour.

Le pilon, dont une dizaine de coups suffisent pour produire un pareil résultat, pèse vingt-cinq tonnes et il a une chute libre d'environ $1^m.60$. A chaque chaude, le nombre de coups se détermine, *de visu*, par l'aspect et l'épaisseur des bavures, afin de laisser assez de fer à refouler pour les chaudes suivantes. Après le dernier coup de pilon, les bavures doivent être minces, et la roue bien nourrie sur toute sa surface.

On voit que dans cette opération la roue est en entier à la température du blanc soudant. L'étampage en bloc a pour effet d'étendre simultanément la matière ramollie dans les creux du moule en produisant une tension uniforme dans toutes les parties de la pièce. Et comme le refroidissement se fait lentement et également dans la masse, les molécules se trouvent partout dans l'équilibre naturel, et on évite autant que possible ces tiraillements intérieurs qui sont la conséquence inévitable des soudures et des martelages successifs dans les anciens procédés de fabrication. — En un mot, *la roue est recuite;* — et c'est en cela précisément que réside la supériorité du procédé Arbel.

Les roues obtenues par les anciens procédés sont fragiles. Il est rare que dès les premiers temps de la mise en service, et sous l'action des efforts extérieurs, chaque roue n'éprouve pas une ou plusieurs ruptures, d'abord à la jante, puis suivant les rais, surtout ceux qui prolongent la manivelle, et même quelquefois sur le bras de manivelle, entre les deux moyeux; ruptures qui sont d'autant plus nombreuses que les roues sont d'un plus grand diamètre. Ainsi les roues de $2^m.19$, des machines Crampton sont presque toutes brisées en deux ou trois places de la jante et suivant plusieurs rais, presque toujours les trois qui continuent la manivelle, et d'autres en outre. — La roue Arbel étant à peu près exempte d'efforts intérieurs, le métal n'a plus à résister qu'aux vibrations de la machine et aux réactions de la voie, qu'elle supporte sans peine.

Enfin, à ces avantages se joint un bon marché que nul constructeur ne peut atteindre, et qui s'explique naturellement, parce que les fers bruts ou de qualité ordinaire du commerce suffisent à la fabrication Arbel; tandis que par les autres procédés, il faut des fers préparés et de bonne qualité; ensuite par la simplicité et la rapidité des moyens de fabrication, quoique exigeant un outillage plus coûteux.

Roues Gouin. — M. E. Gouin a fabriqué, pour plusieurs séries de machines du chemin de fer du Nord, des roues de petit diamètre, de $0^m.955$ à la jante sans bandage, par un procédé spécial. La roue était découpée dans une galette de fer d'environ 1 mètre à $1^m.10$ de diamètre, obtenue au pilon, et

de 10 centimètres environ d'épaisseur, puis étampée après découpage. Cette méthode avait d'abord été adoptée pour les roues motrices où le contre-poids occupe la place de quatre rais et s'arrête à peu de distance du moyeu. Ayant été reconnue économique, elle a été ensuite étendue à la fabrication des autres roues.

Roues pleines. — Nous rappelons aussi : 1° les roues pleines d'une seule pièce, soit en fer forgé étampé au pilon, soit en acier fondu, la zone pleine des rais pouvant être plane, ou plissée en étoile suivant les rayons, ou ondulée concentriquement au moyeu, etc. L'usine de Bochum a de très-beaux produits en acier fondu, des roues motrices de très-grand diamètre, à plusieurs trous de manivelle, et un spécimen de vingt-deux roues coulées ensemble d'un seul jet. 2° Les roues pleines en plusieurs pièces assemblées de différentes manières, dont les types sont assez nombreux, mais qui n'ont, selon nous, qu'un mérite secondaire.

Roues en fonte. — La machine américaine et son tender sont garnis l'une et l'autre de roues en fonte, dont l'usage paraît être habituel en Amérique. Quelques personnes s'appuient de cet exemple, et de la facilité qu'il y aurait de se procurer les qualités de fonte nécessaires à cette fabrication, pour exprimer le regret de voir ces roues systématiquement repoussées. Il paraît avéré que sur le continent de l'Amérique du Nord, dont le climat est très-rigoureux, les roues en fonte résistent mieux à l'action du froid que celles en fer. Mais en Europe, c'est-à-dire dans la partie occidentale de l'Europe, il n'en est pas ainsi : les roues en fer résistent d'une manière satisfaisante. Et l'économie sur le premier établissement qui résulterait de la différence du prix des roues en fonte et des roues en fer, ne saurait entrer en balance avec l'inconvénient de l'augmentation du poids de la machine qui résulterait forcément de l'emploi des roues en fonte.

Bandages et essieux. — La sécurité des trains et des voyageurs repose sur la bonne qualité des essieux et des bandages, non moins que sur celle des tôles des chaudières. Cette cause d'intérêt général est d'ailleurs parfaitement d'accord avec l'intérêt particulier des Compagnies et des constructeurs, pour assurer l'accomplissement de ces conditions indispensables, et il en est résulté de bonne heure une fabrication spéciale et soignée qui ne s'est jamais démentie et qui s'est améliorée progressivement. Nous n'avons donc aucun fait important et nouveau à signaler dans la production de ces deux natures de pièces.

La fabrication des bandages en barres rectilignes a complétement disparu, et on ne fait plus aujourd'hui que des bandages annulaires avec ou sans soudure, aussi bien pour les wagons que pour les machines et tenders, que ces bandages soient en fer ou en acier.

Mais cependant on continue toujours de faire usage des bandages en fer, même pour les roues de locomotives.

Différents exposants présentent des moyens divers de fixer les bandages sur la jante des roues, conjointement avec le serrage dû au retrait par la pose à chaud. Ce sont des cannelures annulaires à queue d'aronde, ou autrement; creusées tantôt dans les bandages, tantôt dans la jante, avec des saillies correspondantes sur la jante ou sur le bandage, ou avec des coins rapportés dans deux cannelures correspondantes, etc. Ces dispositions, que nous indiquons sans les décrire, s'appliquent surtout à l'acier fondu et ont pour but d'éviter l'emploi des rivets et la cassure des bandages à l'endroit des trous de ces rivets. Et elles ont en outre pour effet d'agraffer ensemble le bandage et la jante de manière à retenir les fragments d'un bandage qui viendrait à se rompre.

Les essieux droits pour machines et tenders et les essieux coudés se font comme par le passé, soit en fer fin de première qualité, soit en acier fondu. En ce qui concerne les essieux coudés, les avis sont toujours partagés ou indécis sur la question de savoir s'il est préférable que ces pièces soient en acier ou en fer; car la durée moyenne des essieux en fer augmente sans cesse, et celle des essieux en acier fondu ne paraît pas être en rapport avec leur prix élevé.

Le métal Bessemer commence à entrer dans l'usage, surtout pour les essieux droits; mais cet emploi est encore trop récent pour fournir des comparaisons et des conclusions certaines. On ne peut douter cependant d'un bon résultat définitif en présence des progrès rapides du procédé Bessemer.

Boites a graisse. — Elles se font, comme par le passé, en fonte, en fer, ou plus rarement entièrement en bronze. Leur construction, en général, ne donne lieu à aucune observation particulière. Les coussinets se font presque toujours en bronze. Quelques constructeurs emploient, comme nous l'avons dit, le régule appliqué sur des âmes en fer ou en bronze. Nous pensons que cette seconde méthode ne vaut pas la première sous le rapport de la solidité, et accessoirement du prix.

Nous citerons les boîtes à graisse à plans inclinés pour le déplacement latéral des essieux au passage des courbes, qui sont appliquées aux machines à cinq essieux d'Orléans, et à celles du chemin de Lyon. Nous reviendrons tout à l'heure sur cette disposition, en parlant des moyens employés pour donner aux machines la flexibilité nécessaire pour franchir les courbes de petit rayon. Les boîtes à graisse de la locomotive à cinq essieux, de la Compagnie d'Orléans, ont des tampons de graissage placés à la partie inférieure de la boîte.

Ressorts de suspension. — A l'exception d'une seule locomotive, celle

qui a été construite par le Creusot, pour l'Angleterre, il n'y a dans la manière de construire les ressorts de suspension ou de les placer, aucune disposition nouvelle qui ait une importance sérieuse. Elles varient à l'infini, et on consultera, pour cette étude, les plans d'ensemble des différentes machines.

Dans la locomotive anglaise du Creusot, les deux extrémités de chacun des ressorts des roues motrices et d'arrière, ainsi que des ressorts du tender et le milieu du ressort unique d'avant de la machine, reçoivent ou transmettent la pression par l'intermédiaire de petits ressorts en caoutchouc formés de rondelles carrées superposées, séparées par des plaques et disposées dans des chapes articulées. Nous mentionnons simplement cette disposition originale.

Balancier compensateur de la suspension. — L'usage des balanciers compensateurs reliant les extrémités voisines de deux ressorts consécutifs d'un même côté, pour maintenir la répartition de la charge sur les essieux pendant la marche, a pris un grand développement. La plupart des locomotives exposées, et même les tenders, en sont plus ou moins complétement pourvus. Cette disposition est déjà fort ancienne, et nous constatons à l'Exposition que son application a reçu un développement considérable.

Chassis. — Cette partie essentielle des machines et des tenders est l'objet de progrès importants et de quelques innovations. Toutes les dispositions connues de châssis sont représentées chacune par un ou plusieurs exemplaires, savoir :

1° Longerons intérieurs aux roues;

2° Longerons extérieurs aux roues;

3° Longerons intérieurs et longerons extérieurs, dans toute la longueur de la machine;

4° Longerons intérieurs aux roues, dans toute la longueur de la machine, plus longeron partiel extérieur;

5° Longeron intérieur sur une partie de la longueur, et extérieur sur l'autre partie.

Dans chacun de ces cinq cas, le châssis peut être pourvu d'un faux longeron intérieur, simple ou double, allant de la boîte à fumée à la boîte à feu.

La quatrième disposition est une innovation appliquée aux deux machines mixtes de Lyon et du Nord, qui a pour but de placer l'essieu d'arrière sous le foyer et de soustraire les boîtes à graisse à l'action du rayonnement de la grille, en les transportant à l'extérieur des roues.

La cinquième disposition, appliquée à la machine à cinq essieux d'Or-

liens, est plus radicale encore, puisque aucun des deux longerons n'a la longueur de la machine. Ils sont entretoisés ensemble, vis-à-vis de la quatrième paire de roues vers l'arrière, laquelle roule entre les deux longerons qui forment double châssis sur cette longeur. De la sorte, non-seulement les boîtes à graisse sont en dehors de la grille, mais cela permet d'atteler les bielles d'accouplement des deux essieux d'arrière, en dehors des bielles motrices, tandis que les bielles d'accouplement des deux essieux d'avant, sont à l'intérieur des motrices; et ainsi, d'équilibrer autant que possible les réactions sur le bouton de la roue motrice.

Cette cinquième disposition, qui revient à un longeron coudé sur deux plans verticaux différents, avait été réalisée depuis 1859 d'une manière plus simple et plus hardie par la Compagnie de l'Est, lors du découplement de la première machine du type Engerth, au moyen d'un faux longeron coudé et forgé, contournant le large foyer de ces machines qui a 1m.53 extérieurement; disposé pour que le coude passe à l'arrière de la roue d'arrière, et boulonné avec le longeron extérieur, sur une longeur d'environ 1 mètre. Les vingt-cinq machines Engerth, de la Compagnie de l'Est sont ainsi transformées, et aucun des longerons coudés n'a jamais donné lieu à la plus minime réparation.

LONGERONS DÉCOUPÉS. — Quant à la constitution des longerons en eux-mêmes, de machines et de tenders, on remarque que la disposition de plaques de garde rapportées sur un brancard longitudinal en fer laminé, tend de plus en plus à disparaître. Sur trente-trois locomotives, il ne s'en trouve que quelques-unes qui soient ainsi construites.

Le mode qui semble prévaloir consiste à découper d'une seule pièce brancard, plaques de garde, entretoises, pièces de support des rotules, des freins, des chasse-pierres, etc.; dans une feuille de métal, d'épaisseur et de dimensions voulues, de manière à réduire le nombre des pièces rapportées, c'est-à-dire les rivures, les joints, les assemblages, et conséquemment diminuer les chances de dislocation. La plupart des machines de l'Exposition sont établies suivant cette méthode déjà ancienne, qu'il s'agisse de longerons intérieurs, ou extérieurs, ou de faux longerons. Les tables de métal dans lesquelles on découpe les longerons sont ordinairement de forme rectangulaire; mais pour certains longerons irréguliers, le découpage donnerait des déchets trop importants. L'on sait qu'à cet effet, l'usine française de MM. Petin et Gaudet fabrique depuis longtemps d'une manière courante, au moyen de massiaux convenablement étirés avant le laminage, des plaques festonnées, rétrécies ou élargies, selon les besoins, d'où sortent les longerons des formes les plus bizarres.

LONGERONS A DOUBLE ÉPAISSEUR. — Plusieurs exposants ont persisté dans l'ancienne méthode, qui consiste à former chaque longeron de deux flasques en tôle mince (mince relativement) de 8 à 10 millimètres d'épais-

seur, entretoisées à une distance plus ou moins grande, suffisante dans certains cas pour serrer entre elles des pièces de peu d'épaisseur, comme les oreilles de glissière de plaques de garde, chasse-pierres, supports divers, branches de fer à T ou cornières, pattes d'attache, de traverse d'avant et d'arrière, etc., toutes ces pièces formant entretoise pour les deux flasques. Tels sont les longerons des deux machines Sigl, dans lesquelles l'enretoisement est complété par une barre longitudinale d'épaisseur convenable, plus des entretoiscs en fonte. — Dans d'autres cas, l'ecartement des flasques est assez grand pour loger les ressorts : tel est le tender Borsig.

Mais tout en conservant la disposition à deux flasques, ils ont adopté, comme pour le longeron unique, le système du découpage de chaque flasque dans une seule tôle, avec tous les appendices décrits plus haut.

Longerons en acier. — Tous les longerons à plaques découpées, qu'ils soient à simple ou à double flasque, s'étaient faits jusqu'à présent en tôle de fer de qualité ordinairement médiocre, surtout pour les grandes épaisseurs. L'Exposition offre un exemple d'une innovation importante : les longerons de la machine à cinq essieux, de la Compagnie d'Orléans, ont été découpés dans des plaques en acier Bessemer, pour obtenir plus de légèreté et de solidité, comme dans les autres applications de l'acier aux locomotives.

Longerons en fer a double T. — L'usine de Graffenstaden expose une machine à deux essieux, et à quatre roues accouplées, et son tender, dont les longerons, machine et tender, sont fabriqués avec des fers laminés à double T.

Le fer à double T des longerons de la machine est de très-grande dimension; il a $0^m.54$ de hauteur et $0^m.15$ de largeur. Les plaques de garde sont formées de pièces rapportées qui encadrent une entaille profonde découpée dans le fer. Cette entaille enlève le T inférieur et la branche sur les trois quarts environ de sa hauteur. On regrette de voir cette mutilation du fer à T qui l'affaiblit énormément, et qui semble devoir en annuler le profit. Il est vrai que la branche inférieure est remplacée par une forte platine-entretoise de plaque de garde, de même largeur que la nervure et d'une épaisseur plus grande, qui est fortement boulonnée sur les parties voisines, de manière à restituer une solidité suffisante. Il paraît, au demeurant, que ces châssis ont une rigidité et une stabilité remarquables, et que les machines font le meilleur service.

Les longerons du tender sont aussi en fer à double T, mais d'une moindre dimension. Leur hauteur est de 0.235. Ils sont entiers, sans découpures, avec plaques de garde rapportées intérieurement, et ressorts placés sous la branche de la nervure inférieure. En un mot, ce longeron est identique à celui des wagons, dont le modèle est adopté depuis

plusieurs années. Les traverses intermédiaires du châssis sont en fer à double T de même échantillon que les brancards.

Longerons en barres massives. — Le châssis de la machine américaine consiste en un système de deux longerons intérieurs dont chacun est une carcasse composée de gros fers carrés de 0m.095 sur 0m.070 qui sont reployés à la forge, coudés et boulonnés ensemble de manière à former des cages pour recevoir les boîtes à graisse des roues accouplées motrice et arrière. En avant de la roue motrice, le longeron se résume en une seule barre droite horizontale de la même dimension, qui se prolonge jusqu'à l'avant de la machine en s'encastrant sous le caisson des cylindres. Ces longerons sont d'ailleurs convenablement reliés au corps cylindrique et à la boîte à feu par des supports.

Cette construction donne à la machine un aspect particulier; elle semble tout d'abord être dépourvue de longerons. Il en résulte, d'ailleurs, un accès des plus faciles pour l'examen et la visite de toutes les pièces intérieures du mouvement.

Chassis tender de la machine Krauss. — Rappelons enfin le châssis de la machine Krauss, en tôle de 9 millimètres, dont les flasques longitudinales à plaques de garde découpées, n'ont en elles-mêmes rien de particulier, mais qui sont combinées pour former entre elles la paroi d'une caisse à eau. Nous avons déjà exprimé notre opinion sur cette disposition qui, sous prétexte de légèreté, paraît destinée à donner des fuites continuelles, et à compromettre promptement la solidité du châssis.

Accessoires du chassis. — Nous ne dirons que quelques mots des pièces transversales qui complètent le chassis, et qui servent à relier les longerons entre eux et à la chaudière. On n'y trouve aucune disposition nouvelle qui mérite d'être mentionnée. Ces parties du châssis varient à l'infini pour chaque constructeur et pour chaque machine. Ce sont: 1° la traverse d'avant, le plus souvent en bois, suivant une habitude ancienne, et qui, dans un assez grand nombre de locomotives exposées, est métallique. 2° Le groupe des cylindres, quand ceux-ci sont intérieurs, ou un caisson métallique, quand les cylindres sont extérieurs; qui forment dans les deux cas le point d'attache le plus solide et le plus invariable des longerons à la chaudière et entre eux. 3° Une ou plusieurs traverses qui sont, ou fixées à la chaudière et glissant sur les longerons, ou fixées aux longerons et laissant la chaudière glisser sur eux; ou bien des supports découpés dans de grosses tôles, fixés sans glissement par des cornières, aux longerons et à la chaudière. Les bords de ces tôles sont libres et sans cornières de consolidation pour se prêter à la flexion qui résulte de la dilatation de la chaudière. Quelquefois, mais plus rarement, chaque traverse est représentée par un système de deux supports rivés à la chau-

dière, et qui glissent sur les longerons qu'ils embrassent étroitement. 4° Un ou plusieurs supports de longueur très-variable, fixés isolément sur les flancs du foyer, et qui permettent le glissement du longeron par suite de la dilatation de la chaudière. 5° Le système des tôles de l'attelage d'arrière et de la traverse d'arrière qui est en bois ou en métal, et qui, en ce cas, se marie toujours avec l'attelage.

Nous signalons, en somme, la propension à remplacer les traverses en bois d'avant et surtout celle d'arrière par des traverses métalliques, et l'usage général des supports à glissement longitudinal permettant la libre dilatation de la chaudière, sans fatigue pour elle-même ni pour les pièces fixes de la machine.

Tampons de choc et crochet d'avant. — Le caoutchouc, qui avait en peu de temps détrôné les tampons d'étoupe, il y a une vingtaine d'années, est remplacé lui-même par les ressorts d'acier en spirale des différents systèmes, dont l'usage paraît devenir de plus en plus fréquent, et ils sont appliqués à un très-grand nombre des machines exposées.

Les crochets d'avant donnent souvent la traction à sec sur la traverse, sans intermédiaire élastique; cependant on a employé déjà anciennement le caoutchouc à cet usage. On trouve à l'Exposition quelques machines dont les crochets sont garnis de ressorts en caoutchouc, et d'autres en plus grand nombre qui exercent la traction par un ressort spiral qu'ils traversent; quelquefois il y a deux de ces ressorts pressés par un joug traversé en son milieu par le crochet. — Nous croyons que l'élasticité des crochets d'avant n'a d'importance sérieuse que pour les locomotives qui sont destinées à marcher également dans les deux sens; et alors, nous donnerions la préférence à un ressort ordinaire à lames étagées.

Attelage d'arrière. — L'attelage Stradal est la seule chose neuve que nous ayons remarquée. Ce sont partout les dispositions classiques, simples et solides, de barres et chevilles, de tendeurs, petits tampons à ressorts, chaînes de sûreté, etc.

Quelques ingénieurs ont pensé que, pour faciliter le passage des machines dans les courbes de petit rayon, il serait avantageux que la cheville d'attelage coïncidât avec le centre d'oscillation de la machine; soit, si l'on veut, avec son centre de gravité, de manière que celle-ci, exempte de l'effort oblique qui tend à la ramener à l'arrière, vers le centre de la courbe, fût libre de pivoter comme si elle n'était pas attelée.

Polonceau avait imaginé un appareil très-simple, un cadre, composé de tringles et de balanciers, que la Compagnie d'Orléans pratique encore aujourd'hui. Cet appareil fonctionne bien, mais il n'est pas toujours facile de l'installer, et il est encombrant par son étendue.

L'appareil Stradal n'a pas cet inconvénient. — Simple et rustique, comme les barres et chevilles ordinaires, il a la même solidité qu'elles,

pose d'une barre terminée par un T, dont les deux branches s'appuient sur la traverse d'arrière par l'intermédiaire de deux petites paires de bielles articulées aux extrémités des branches du T, et sur deux points fixes de la traverse, plus écartés que les deux points d'articulation du T. Ainsi les deux paires de petites bielles font un angle qui est calculé pour que, en les prolongeant par la pensée, leur intersection se trouve dans toutes les positions relatives de la machine et du tender, sur la ligne fictive qui joint la cheville d'attelage du tender au centre d'oscillation (ou de gravité) de la machine.

La grande branche du T, au lieu d'être une simple barre, peut être formée de deux parties en forme de douilles, filetées inversement, et réunies par une forte vis à deux filets, comme les tendeurs ordinaires.

APPAREILS ACCESSOIRES DES LOCOMOTIVES.

Nous terminerons nos études sur les locomotives par l'examen de quelques dispositions spéciales de machines et d'appareils accessoires, dont quelques-uns sont de la plus haute importance, comme par exemple les freins à vapeur.

Sablière. — L'emploi de cet engin est devenu tellement général qu'on ne trouve presque plus de machine qui en soit dépourvue. C'est un outil imparfait, il est vrai, barbare même, un pis-aller, mais dont rien jusqu'ici ne peut tenir lieu. On trouve à l'Exposition des sablières de tous les systèmes, de toutes les formes et grandeurs. Il n'y en a, pour ainsi dire, pas deux qui se ressemblent. Mais cela importe peu : nous constatons simplement leur existence sur la presque totalité des machines de l'Exposition, sans les décrire ni les comparer.

Abris. — Les machines qui sont entièrement dépourvues d'abris font exception ; la majeure partie est pourvue d'une véritable guérite, ouverte seulement sur l'arrière, et vitrée en avant et sur les côtés, dans l'intérieur de laquelle viennent aboutir tous les leviers, tringles, manivelles de commande de tous les appareils accessoires qui doivent concourir au fonctionnement de la locomotive. — Dans d'autres cas, les parois latérales de l'abri n'existent pas; d'autres fois, la face verticale d'avant est dégagée sur les bords, mais le toit subsiste. — Dans les plus simples, l'abri se réduit à un simple écran, garni de lunettes en verre.

L'opportunité des abris, plus ou moins complets, est une question controversée, au point de vue de la sécurité et même du bien-être des mécaniciens. Nous croyons qu'on ne peut conclure absolument, et qu'il y a lieu de consulter les convenances, selon les lieux et selon les climats.

Ainsi, les abris de première espèce qui ne sont ouverts qu'à l'arrière, peuvent être très-confortables dans la mauvaise saison, mais ils ne sont pas tenables pendant les grandes chaleurs.

Quoi qu'il en soit, nous constatons la tendance générale, qui est de pourvoir les machines, pour le moins, d'un écran d'une certaine étendue, avec auvent, et qui est suffisant pour procurer aux mécaniciens un soulagement considérable contre les intempéries.

Freins. — Nous divisons l'étude des freins en deux classes bien distinctes : les freins à main, à friction; et ceux où la résistance se produit dans les cylindres de la machine.

Freins a main et a friction. — La première catégorie de freins comprend tous les freins à sabots de friction mis en jeu par des leviers sur lesquels la pression est produite, soit par des vis ou des crémaillères mues à la main, soit par un piston à vapeur, soit par la puissance vive du train agissant directement comme dans le frein automoteur, ou indirectement par excentrique sur essieu, commandé par embrayage électrique ou autrement, etc. Et, au point de vue général, nous considérons aussi bien les freins appliqués aux voitures et wagons, que ceux qui sont montés sur les tenders et sur les machines. Car, non-seulement la construction est la même pour les uns et les autres, mais ils concourent tous au même but, sous la direction et la volonté du machiniste.

Parmi les engins de toute espèce qui composent l'immense matériel des chemins de fer, il y en a peu qui aient eu, plus que les freins et les signaux (c'est-à-dire les appareils qui assurent le plus immédiatement la sécurité), le privilége d'exercer l'activité des inventeurs, présque toujours étrangers aux choses des chemins de fer. On en conclurait volontiers que les ingénieurs ne se préoccupent pas de cette matière, qu'ils la délaissent. Les projets pullulent : les uns sont la reproduction d'appareils anciens abandonnés; les autres sont la copie pure et simple, avec variantes insignifiantes, des dispositions en usage. Le plus grand nombre enfin sont des modèles de complication de bizarrerie, et souvent d'absurdité.

Nous avons peu de chose à mentionner pour les freins en eux-mêmes. A part le frein Stilmant, le frein Achard à embrayage électrique, et le frein Tabuteau, qui, à l'Exposition, sont appliqués à des voitures, et qui sont également applicables aux tenders, sinon aux machines (le frein Stilmant est en usage pour les tenders sur quelques lignes), on ne trouve dans tout le matériel exposé, aucune invention réellement digne d'attention. Sous les formes les plus variées, on retrouve toujours des sabots métalliques ou en bois qui frottent ordinairement sur les bandages des roues; parfois sur les rails, comme dans les deux machines belges Carels et Couillet, poussés ou tirés par des systèmes de bielles, tringles, arbres et leviers qui sont actionnés par les différents moyens énumérés plus haut.

que ceux des wagons ; ceux des machines sont à peu près équivalents à ceux des tenders.

Frein Stilmant. — Le frein Stilmant, avec son coin de serrage à facettes glissantes, est très-énergique et très-prompt. Il est préférable, sous ce dernier rapport seulement, aux anciens freins à vis très-suffisamment énergiques ; mais il a l'inconvénient d'être lourd et coûteux ; et sous ce rapport ne peut soutenir la comparaison avec les freins mus par une crémaillère, comme sont, et ont toujours été depuis l'origine, les freins de tous les tenders de la Compagnie de l'Est, et une grande partie de ceux du Nord, et dont la promptitude est d'ailleurs au moins égale à celle du frein Stilmant.

Frein Achard. — Le frein Achard, à embrayage électrique, produisant le serrage par le mouvement des wagons, est également très-énergique et très-prompt, pour enrayer comme pour lâcher ; mais outre qu'il est compliqué, il a l'inconvénient inhérent à toutes les communications électriques, lesquelles pèchent toujours par les jonctions du courant de wagon à wagon, ce qui offre des difficultés pratiques que l'on n'est pas encore parvenu à surmonter. Il en résulte des déréglements les plus imprévus dans la marche du frein, qui se met spontanément en fonction quand on ne le lui demande pas (interruption d'un courant permanent) ou qui ne fonctionne plus quand on le lui demande (interruption d'un courant intermittent). L'invention de M. Achard n'a, jusqu'à présent, existé qu'à l'état d'essai à grande échelle sur le réseau de l'Est français et celui de l'État belge.

Adjonction de freins a main aux locomotives. — Le fait principal que présente l'Exposition à l'endroit des freins à friction consiste dans l'extension de leur application aux locomotives elles-mêmes. Un grand nombre des machines exposées, en outre des machines tender qui sont à part, en sont pourvues. Sur l'une d'elles, la machine Steïerdorf, la pression sur les sabots est produite par des cylindres à vapeur.

L'adjonction du frein aux machines est déjà ancienne, mais elle ne s'est développée que dans ces derniers temps par suite de l'augmentation des lignes à fortes rampes. — En présence du nouvel et puissant engin qui résulte de l'emploi de la contre-vapeur, dont nous allons parler, et qui, à peine mis au jour, est déjà arrivé à un degré de perfection assez satisfaisant, il est probable que l'annexion des freins à main aux locomotives perdra toute son importance.

Freins a vapeur. — Le tracé de la plupart des lignes qui se construisent depuis quelques années présente des rampes de plus en plus fortes qui

atteignent jusqu'à 30 millimètres par mètre et dépassent même cette inclinaison. Les conditions de bon marché du premier établissement ne sont plus les seules causes qui déterminent le choix de profils pareils; à mesure que l'on pénètre plus avant dans les pays montagneux pour l'achèvement des réseaux ou pour leur jonction entre eux, ces inclinaisons deviennent plus ou moins la condition *sine quâ non* de l'établissement des lignes nouvelles.

Il en résulte une exploitation dispendieuse dont les difficultés ne consistent pas seulement à créer des moteurs puissants pour vaincre la gravité, flexibles pour passer dans des courbes d'un rayon exceptionnellement petit. La descente de ces pentes rapides devient une opération délicate, périlleuse même, qui oblige à des précautions inusitées, à une surveillance qui ne doit pas se démentir un seul instant, sous peine des plus graves accidents. De là, la nécessité d'augmenter la force et le nombre des freins, de tenir les wagons-freins complétement chargés; de là aussi, l'addition des freins à main aux locomotives. La conséquence d'un pareil état de choses est d'amener la prompte destruction des bandages de roues et des rails de la voie, sans pour cela garantir la sécurité d'une manière suffisamment certaine.

L'emploi du frein à friction en pareille circonstance est un véritable expédient, que l'on n'utilise que faute d'un meilleur moyen. Le rôle véritable de ce frein, en effet, n'est pas de servir de modérateur, pour maîtriser la descente des fortes rampes, par un fonctionnement continué sur un long parcours pendant des heures entières, mais bien de produire le ralentissement accidentel, ou l'arrêt des trains; auquel cas le glissement des roues est de courte durée, et sans grand inconvénient ni pour la voie ni pour les bandages.

Des besoins nouveaux appellent des moyens nouveaux, et dans le cas qui nous occupe, la solution n'a pas tardé à apparaître. — Cette solution réside dans la résistance transmise par les pistons à la machine et au train, au moyen de la contre-vapeur, ou de l'air comprimé par eux; il semble naturel, en effet, que le moteur puissant qui peut, à la montée, vaincre la gravité, plus les résistances passives et constantes du train, soit le même qui s'oppose à la descente, aux effets d'accélération causés par la gravité, aidé cette fois par les mêmes résistances passives du train entier. L'action de ce frein s'exercera progressivement, mollement, sans aucun frottement de glissement, sans destruction d'aucune des parties du matériel fixe et roulant. Il pourra se prolonger indéfiniment, comme en marche normale : la machine sera le frein modérateur par excellence.

La marche à contre-vapeur ordinaire, par le simple renversement de la distribution, connue et pratiquée de tous temps comme le moyen le plus énergique de conjurer un accident imminent, n'a jamais été non plus qu'un expédient dont l'emploi ne pouvait être prolongé qu'au risque d'un nouveau danger, l'explosion, résultant de l'accumulation brusque d'un gaz non liquéfiable, de l'air comprimé, dans la chaudière, malgré les

soupapes de sûreté. Il n'y avait pas à songer à l'employer pour la descente des pentes; — et cependant le principe était là.

Deux inventions récentes, postérieures à 1862, donnent chacune de leur côté une solution du problème; elles sont toutes les deux présentées au Champ de Mars. L'une est l'appareil à air comprimé de M. de Bergues, l'autre est l'appareil à contre-vapeur de M. Le Chatellier.

Frein de Bergues. — M. de Bergues aspire l'air extérieur dans le cylindre par le tuyau d'échappement, dont la tuyère se ferme en même temps que s'ouvre un orifice spécial, afin d'éviter l'introduction des cendres et escarbilles dans les cylindres. Le régulateur est fermé, et l'air est comprimé et refoulé dans un réservoir muni d'une soupape régulatrice d'évacuation et d'une autre soupape dite de sûreté qui ne permet pas de dépasser un maximum de pression. Un jet continu de vapeur et d'eau prise dans la chaudière ou dans le tender doit rafraîchir l'air dont la température s'élève par la compression, et prévenir l'échauffement des cylindres et des garnitures; simultanément, ce jet d'eau lubréfie continuellement les cylindres.

Frein Le Chatellier. — L'appareil de M. Le Chatellier est incomparablement plus simple. Il consiste à lancer dans les canaux d'échappement le plus près possible des tables du tiroir et vers elles, un jet de vapeur suffisamment nourri pour remplir ces canaux et la cheminée, et empêcher ainsi l'aspiration de l'air par le cylindre, au moment où l'on renverse la distribution. Les cylindres se remplissent de vapeur détendue qui se comprime et se liquéfie jusqu'au moment où la vapeur de la chaudière est admise à contre-marche, et refoulée immédiatement. Un jet d'eau pris dans la chaudière, d'un volume suffisant, prévient l'échauffement des cylindres et les lubréfie. — Quelques mètres de tuyaux en cuivre et leurs joints, puis quelques robinets sont les éléments constitutifs du frein Le Chatellier.

Nous faisons remarquer, en terminant, que les deux inventions ont chacune un côté faible. Dans l'une on n'est pas parvenu à dompter l'échauffement dû à la compression des gaz d'une manière absolument certaine; dans l'autre, il y a plusieurs inconvénients qui résultent du refoulement dans la chaudière. Quoi qu'il en soit, il est permis d'espérer que ces appareils seront le point de départ de recherches nouvelles qui ne feront pas attendre longtemps un succès complet.

Changement de marche a vis. — Le corollaire indispensable de la contre-vapeur est un moyen de manœuvrer le changement de marche d'une manière plus vigoureuse et plus prompte qu'on ne peut le faire avec le levier usuel. La contre-marche produit dans le mécanisme des résistances et des soubresauts brusques que le mécanicien peut devenir

facilement impuissant à maîtriser; et si, en pareil cas, le renversement du levier se fait vers lui, il est littéralement sabré; plusieurs mécaniciens ont été victimes de cet accident. — Depuis longtemps déjà, pour les grosses machines à marchandises, on avait senti le besoin d'opérer d'une manière plus énergique la manœuvre du changement de marche. — L'appareil à vis avec volant, de Kitson, largement représenté à l'Exposition, résout la question d'une manière fort satisfaisante; le renversement complet de fond à fond de course, avec le régulateur ouvert, s'opère en moins de la moitié du temps qui est nécessaire avec le levier ordinaire dont la manœuvre n'ést d'ailleurs possible qu'après avoir fermé le régulateur; et avec la plus grande sécurité. — C'est un appareil simple et pratique, que la Compagnie de Lyon a exécuté la première en France sous une forme commode, légère et solide, qui est un excellent type, et qui est imitée.

On trouve en outre plusieurs applications de la disposition, ancienne déjà, du levier mixte de changement de marche qui peut se manœuvrer à la main, en prenant ses crans sur une vis droite par un demi-écrou, ou pouvant être actionné par la vis, au moyen de ce demi-écrou. Parmi ces appareils nous mentionnerons seulement la disposition originale du changement de la machine anglaise de Stephenson. Le levier ne diffère en rien des conditions ordinaires, mais la vis consiste en un solide de révolution, dont l'axe horizontal est la corde qui joint les deux extrémités fond de course de l'arc décrit par le verrou du levier, et dont la courbe génératrice méridienne est ce même arc. Ce solide de révolution est un véritable fuseau d'environ 60 centimètres de longueur, dont la surface est sillonnée par une hélice à inclinaison constante qui fait environ treize révolutions, et dont par conséquent le pas est variable suivant le diamètre du fuseau. L'aspect de cette pièce est celui de deux coquillages en hélice allongés, et adossés par leur bouche. Cet appareil nous a semblé être plus un objet de curiosité que d'utilité.

Appareils pour créer la flexibilité des machines. — Nous divisons cette étude en deux parties. Dans la première partie nous examinons les moyens par lesquels on a réalisé le déplacement latéral des essieux appartenant à un même châssis rigide qui maintient le parallélisme du groupe d'essieux. Dans la deuxième partie, nous jetons un coup d'œil sur les trains à châssis articulés.

Déplacement latéral des essieux. — Le déplacement latéral des essieux permet aux boudins des roues extrêmes dépendantes d'un même châssis de s'inscrire sans trop de résistance dans des courbes de très-faible rayon, quand même l'écartement des roues extrêmes serait considérable. Les frottements de glissement dus au défaut de convergence, et à la différence des chemins parcourus par les deux roues solidaires d'un même essieu sur deux courbes de rayon différent, subsistent toujours;

mais enfin, la machine passe sans trop souffrir, dans des courbes dont autrement l'accès lui serait interdit. Les moyens réalisés qui figurent à l'Exposition sont les suivants :

1° Jeu latéral des fusées entre leurs collets et les joues des coussinets. — Dans cette disposition, les essieux sont flottants et ne sont ramenés dans la position normale que par la conicité des bandages, ou celle des fusées, dans le cas où elles sont évidées en forme de bobine. — Ce jeu a été pratiqué de tout temps, surtout dans les machines avec essieu placé à l'arrière du foyer, celles qui présentent le plus grand écartement des roues extrêmes. Mais alors on ne dépassait pas un jeu de plus de 4 à 5 millimètres, et toujours sur l'essieu d'arrière, de beaucoup le moins chargé, sauf des cas particuliers. Aujourd'hui, on pratique sans hésiter, un jeu de 10 à 12 millimètres, même davantage, surtout sur les machines à quatre essieux. Nous n'avons pas entendu dire qu'il en soit résulté ni accidents, ni inconvénients sérieux.

2° Appareil Caillet. — Il consiste en une barre-entretoise, arc-boutée contre les tiges de pression des ressorts sur les boîtes à graisse. Cette barre porte de chaque côté des talons glissants qui s'appuient contre les boîtes à graisse, et viennent presser chacun un petit ressort monté dans une chape qui fait partie de la barre-entretoise. Le jeu latéral des essieux ne se fait plus par les fusées dans les boîtes, mais par les boîtes dans les plaques de garde. Au passage des courbes, les boîtes entraînées par les essieux pressent le ressort situé du côté extérieur. Il fléchit et vient s'appuyer sur la barre qui ne peut reculer, puisqu'à l'autre extrémité elle s'appuie sur un point fixe. Le ressort est réglé et produit une réaction suffisante pour maintenir ou ramener l'essieu dans sa position normale pendant le parcours en ligne droite, et pour permettre le déplacement de l'essieu par l'action du rail. Il ne paraît pas en résulter une pression capable d'user les bandages notablement plus que dans les circonstances ordinaires. L'appareil Caillet se pose sur les roues d'avant ou d'arrière. Il est appliqué à un certain nombre de machines.

3° Boites a plans inclinés. — Ce système est représenté par deux inventions analogues qui sont dues, l'une à la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, et l'autre à M. Chapman, en Angleterre. Il est appliqué à grande échelle à la locomotive à cinq essieux d'Orléans (huit boîtes sur dix), et plus simplement à d'autres machines de l'Exposition.

Cette disposition, d'une simplicité remarquable, agit en soulevant la machine d'une manière équivalente à celle de l'ancienne disposition à osselets de Polonceau. Une pièce additionnelle placée au-dessus de la boîte qui seule a un jeu latéral (Chapman); ou bien le dessus du coussinet et qui a le jeu latéral dans la boîte (Orléans), sont taillés en plans in-

clinés, et disposés pour que dans tout le déplacement la pression de la machine s'exerce sur trois facettes dont le centre de figure forme un *triangle*; ce qui procure trois points d'appui qui empêchent la boîte de chavirer et qui maintiennent le centre de pression notablement sur le milieu de la fusée. La pente des plans inclinés est calculée pour produire d'après les coefficients connus du frottement des métaux en contact lubréfiés, et d'après la charge connue sur chaque fusée, un effort transversal qui doit donner lieu aux mêmes effets que s'est proposé M. Caillet avec son appareil à ressorts. Les plans inclinés des boîtes à graisse réalisent le déplacement latéral des essieux d'une manière simple, commode et très-pratique.

Tourillons sphériques des bielles d'accouplement. — Les déplacements latéraux d'essieux dont il vient d'être parlé amènent forcément le déplacement des bielles et autres pièces du mouvement. Les essieux moteurs sont ordinairement fixes, et par conséquent les bielles motrices ne sont pas dérangées. Ce sont les essieux accouplés et les bielles d'accouplement qui subissent tout le déplacement.

Pour éviter le tiraillement de ces bielles, et le coincement des coussinets sur les boutons de manivelles, les machines qui ont un jeu un peu notable, ou bien ont un jeu latéral de la tête de bielle sur le bouton, égal au jeu de l'essieu, ou bien sont pourvues de tourillons sphériques : ce sont ordinairement les locomotives à grand écartement de roues extrêmes, et les plus puissantes. Dans quelques-unes, la ligne de bielles accouplées est à double articulation, une horizontale et une verticale. Celle-ci permet la flexion latérale de la bielle qui s'incline sur le bouton de la roue accouplée, tandis que l'autre tête de bielle reste droit sur le bouton de la roue motrice.

Trains a chassis articulés. — La deuxième classe de dispositifs propres à donner la flexibilité aux locomotives, comprend les trains à châssis articulés, qui n'excluent pas d'ailleurs les appareils de la première catégorie que nous venons d'examiner.

Quelques ingénieurs ont pensé que le meilleur moyen d'obtenir une machine puissante, naturellement portée sur un grand nombre d'essieux, qui pût franchir facilement les courbes de petit rayon des tracés à fortes rampes, serait de répartir la charge de la machine sur deux groupes de châssis articulés. Ce programme avait été réalisé anciennement par Verpilleux, d'une manière simple, par la machine à tender moteur, pour renforcer ses locomotives; plus tard, par la machine Engerth à engrenages; puis, par l'Engerth, telle qu'elle existe en France, n'utilisant qu'une partie de l'adhérence totale. Puis on a cherché des moyens, autres que l'engrenage, d'utiliser l'adhérence de toutes les roues de la machine, et on est arrivé aux deux systèmes principaux qui consistent : l'un à

bile, par un système de bielles dites articulées; l'autre, à diviser les roues en deux groupes isolés, et commandés chacun par deux cylindres.

MACHINE STEIERDORF. — La machine Steïerdorf, qui était à l'Exposition de 1862, et qui se retrouve à celle de Paris en 1867 après avoir fourni une carrière assez laborieuse, appartient au système des bielles articulées. Elle a été construite sur les plans de M. Engerth. On trouvera la description et les plans de cette locomotive parmi les documents que nous avons réunis (dossier n° 13).

Deux autres machines à trains articulés sont à l'Exposition, ce sont:

1° La machine mixte américaine à quatre roues accouplées dont l'avant se repose sur un truck à quatre roues porteuses, mobile autour d'une cheville ouvrière. Elle est accompagnée d'un tender spécial, porté lui-même sur deux trucks à quatre roues, mobiles l'un et l'autre autour d'une cheville ouvrière.

2° La machine tender à cinq essieux, de la Compagnie Saint-Léonard, de Liége, dont les six roues d'arrière sont accouplées. Les quatre roues d'avant sont des roues porteuses montées sur un truck mobile autour d'une cheville ouvrière, et qui, en outre, peut se déplacer latéralement en entraînant la cheville, laquelle est solidaire de la tête d'arrière d'une barre d'attelage qui pivote à l'avant de la machine, autour d'une cheville fixée au châssis.

DESSINS OU MODÈLES EXPOSÉS DE MACHINES A TRAINS ARTICULÉS. — L'Exposition contient en outre un certain nombre de projets de machines à châssis articulés qui sont représentés par des dessins ou de petits modèles. Dans tous ces projets, l'adhérence totale est utilisée soit par une seule paire de cylindres et des bielles d'accouplement articulées, soit par le système des quatre cylindres. Ce sont :

SYSTÈME RARCHAERT. — Le système Rarchaërt, à adhérence totale et à quatre ou à six essieux convergents par groupes de deux ou de trois. La transmission se fait d'un châssis à l'autre par l'intermédiaire de balanciers oscillant autour d'un axe horizontal, placé à égale distance entre les deux groupes d'essieux, et qui converge constamment vers le centre des courbes, oscillant sur une très-forte cheville verticale à articulation sphérique, placée sur le plan milieu de la machine. On conçoit que les balanciers intercalés entre les bielles d'accouplement des deux groupes constituent l'ensemble des bielles d'un même côté en une seule bielle générale, rétractile du côté du petit rayon de la courbe, extensible du côté du grand rayon. C'est exactement le même phénomène qui se produit

sous une autre forme dans la transmission parallélogrammique articulée de la machine Steïerdorf. Dans les deux cas, toutes les têtes de bielle intermédiaires aux deux groupes sont à tourillons sphériques.

Dans un deuxième système de M. Rarchaërt, les deux groupes de roues accouplées, de deux ou de trois essieux chacun, sont respectivement solidaires de deux trucks pivotant autour d'une cheville centrale, fixée à un châssis général auquel sont attachés les cylindres. Sur ce même châssis, et au milieu de l'intervalle qui sépare les deux pivots, est un arbre coudé en son milieu, et aux extrémités duquel sont calées à angle droit des manivelles qui sont actionnées par les cylindres. Le coude de cet arbre entraîne par son milieu une grosse bielle d'accouplement assez rigide pour déterminer l'entraînement dans le sens vertical, et dont les extrémités sont attelées sur des coudes correspondants de l'essieu d'arrière du truck d'avant, et de l'essieu d'avant du truck d'arrière. Les coussinets de cette bielle centrale, que l'auteur appelle « bielle circulaire, » s'articulent sans jeu sur les mannetons des coudes. Les centres de figure de ces boutons s'éloignent d'une quantité qui n'est pas négligeable, au passage des courbes, et comme la bielle est inextensible, il doit en résulter des efforts intérieurs produisant des tiraillements considérables, et par conséquent une convergence très-imparfaite des deux trucks.

Système Gouin. — Le système Gouin, à adhérence totale de cinq essieux (ou plus), « avec faux essieux et bielles évidées, assurant l'égalité du mouvement de rotation de tous les essieux, quel que soit le rayon des courbes parcourues. »

Dans ce système, un châssis rigide qui occupe toute la longueur de la machine est supporté par un ou par deux trucks mobiles autour d'une cheville ouvrière placée à celle de leurs extrémités qui est située du côté du milieu de la machine, et sur lesquels il repose par des platines de glissement horizontales. Les roues et essieux sont partagés en deux groupes distincts.

Dans le modèle exposé, les essieux du groupe d'avant, au nombre de trois, ne convergent pas; ils sont solidaires de plaques de garde taillées dans les grands longerons. L'essieu du milieu est l'essieu moteur actionné par les cylindres à la manière ordinaire. — Les essieux du groupe d'arrière, au nombre de deux, sont solidaires d'un truck pivotant à son avant, comme il a été dit. Entre ces deux essieux, et dans le même plan qu'eux, est un faux essieu sans roues, qui est guidé et maintenu par des plaques de garde appartenant au grand châssis dont il suit le mouvement, c'est-à-dire sans converger.

Aux extrémités de cet arbre sont des manivelles calées à angle droit, qui sont accouplées avec celles des roues d'arrière du groupe des six roues d'avant, dont elles suivent exactement le mouvement de rotation. Le bouton de ces manivelles est un solide tourillon sur lequel est enfilée

une grosse bague en bronze dont l'extérieur est ajusté rectangulairement, de manière à jouer et glisser sans jeu vertical dans une ouverture pratiquée dans la bielle d'accouplement qui réunit le faux essieu aux deux paires de roues du groupe d'arrière.

Il en résulte que cette bielle peut suivre le mouvement de convergence des essieux d'arrière, en s'inclinant sur la bague-coussinet rectangulaire du bouton de manivelle du faux essieu, lequel entraîne néanmoins la bielle et lui transmet les efforts verticalement, et non horizontalement comme d'ordinaire. Cette circonstance oblige à construire ces bielles comme de véritables jougs-balanciers.

Le faux essieu est maintenu dans le plan des deux essieux conjugués par deux barres intérieures aux longerons, qui sont supportées par leur extrémité sur les deux essieux au moyen de boîtes à graisse, et le faux essieu tourne dans des coussinets dont l'extérieur est à faces horizontales parallèles jouant dans une ouverture pratiquée dans les barres, de la même manière que les coussinets des manivelles de cet arbre jouent dans les bielles-balanciers.

M. Gouin indique que les roues du groupe d'avant, au lieu d'être fixes, peuvent être installées comme celles d'arrière, avec un faux essieu également solidaire du grand châssis.

Dans l'un et l'autre cas, la machine peut être à deux ou quatre cylindres.

Machines a quatre cylindres a chassis articulés. — Dans le système où le mouvement est donné à chacun des groupes de roues par une paire de cylindres, qui constitue par conséquent des machines à quatre cylindres, l'Exposition nous offre une machine exécutée et les dessins de quatre projets, tous à peu près équivalents, savoir :

1° La puissante machine à tender moteur, qui est exposée par la Compagnie de l'Est, et qui utilise l'adhérence de ses six paires de roues (voir le dossier n° 37).

2° Le projet Boutmy : locomotive tender à douze roues accouplées par groupes de six roues, à quatre cylindres, à châssis articulés, le châssis d'arrière seul pivotant. Chaudière ordinaire (voir dossier n° 52).

3° Le projet Thouvenot : locomotive tender à douze roues accouplées par groupes de six roues. Deux trucks à pivot, absolument indépendants l'un de l'autre, chacun à deux cylindres et à six roues couplées. La chaudière, quoique d'une seule enveloppe, représente deux chaudières ordinaires complètes, adossées par leur foyer. Ainsi, deux foyers, deux tubulures distinctes, et aux extrémités, deux boîtes à fumée, chacune avec sa cheminée. La machine n'a donc ni avant ni arrière. Le mécanicien se tient au milieu de la machine.

4° La série des projets J.-J. Meyer et Ad. Meyer, fils. Locomotives tender à quatre (ou à deux) cylindres. Deux trucks attelés l'un à l'autre par une barre et surmontés d'une chaudière ordinaire de grande dimension, reposant sur les trucks par trois pivots ou points d'appui, seulement, placés l'un à l'avant, au centre de figure du truck d'avant, les deux autres, symétriquement de chaque côté du foyer et du truck d'arrière. Ceux-ci seuls sont à patin et à glissement, celui d'avant n'étant qu'à rotation.

La chaudière est sans bâti spécial et ne sert en aucune façon à relier les trucks entre eux, ni à la transmission de l'effort de traction ; ses dilatations sont de cette manière entièrement libres, et elle est rechangeable.

Selon les projets, les trucks sont à deux, à trois, ou exceptionnellement à quatre essieux. Il y a deux cylindres à chaque truck (ou à l'un d'eux seulement), et l'appareil propulseur varie comme empattement et dimension de roues selon que l'on veut avoir une machine à marchandises, une machine mixte, ou une machine à grande vitesse, pour lignes à grands ou à petits rayons.

5° Le projet Fairlie (Angleterre). Ce projet est la répétition du projet Thouvenot, avec variantes, et donne lieu aux mêmes remarques.

Préférence de l'un des systèmes précédents. — De tous ces moyens d'obtenir la flexibilité des puissantes machines, auquel des deux groupes donnera-t-on la préférence : au châssis rigide qui maintient parallèles des essieux se déplaçant latéralement, ou au système à châssis articulé convergent? — Et dans le groupe qui sera préféré, quelle est la meilleure solution ?

Au lieu d'énoncer une opinion et de trancher la question, il nous semble préférable de consulter les faits et de passer une revue rapide de la situation actuelle, que nous récapitulons :

Le système Engerth (sans engrenages), à châssis articulé, et à adhérence partielle, qui avait été établi à grande échelle par trois des grandes Compagnies françaises, le Nord, le Midi et l'Est, est abandonné pour les constructions neuves : les uns ont découplé la machine d'avec son tender, pour en faire deux véhicules séparés ; les autres ont conservé les machines acquises dans leur forme primitive.

Les machines à châssis articulés à adhérence totale et à deux cylindres, avec transmission articulée, n'ont jamais reçu qu'une seule application : la machine Steïerdorf, primitive ou modifiée, dont il n'existe qu'un ou deux exemplaires. Les systèmes Rarchaërt, Gouin, etc., n'existent qu'à l'état de projets.

Il en est de même des systèmes Meyer, Boutmy et Thouvenot, qui représentent les machines à quatre cylindres à trucks pivotants indépendants. Le système Fairlie a reçu quelques applications.

La machine à adhérence totale, à tender moteur, ressuscitée de Verpilleux, a reçu dans ces derniers temps un assez grand nombre d'applications. Elle a été reprise en Angleterre par M. A. Sturrock, qui en a construit une grande quantité; en Belgique, par M. Urban; en France, par la Compagnie de l'Est. On remarquera que, dans ce système, la machine et le tender sont attelés à la manière ordinaire, et sont par le fait des véhicules non articulés : c'est le joint de vapeur qui est articulé.

Enfin les machines à adhérence partielle ou totale en un seul véhicule à trois, quatre, cinq et six essieux parallèles, pourvues d'un jeu latéral important, comme il a été dit, prennent tous les jours un développement de plus en plus grand. Nous citerons entre autres les puissantes machines à quatre essieux accouplés construites en France par les Compagnies du Nord, du Midi, d'Orléans et de l'Est.

Abaissement du prix des machines. — A tous les perfectionnements que nous avons successivement examinés, et qui ne comprennent que la partie technique, s'ajoute un dernier progrès qui concerne l'économie des chemins de fer, et pour lequel l'année 1867 sera une date : nous voulons parler de l'abaissement du prix des locomotives et tenders, soit du matériel en général. En 1867, ces prix étaient, pour les machines, d'environ 1 fr. 60 le kilogramme, et pour les tenders de 0 fr. 85.

Documents recueillis. — Pour ne pas allonger outre mesure l'analyse que nous avions à faire, nous avons dû renoncer à y insérer la description individuelle des locomotives, et nous avons formé pour chacune d'elles un dossier particulier qui contient les plans d'ensemble à grande échelle, quelques détails spéciaux, et les notes que nous avons recueillies; les explications qui nous ont été fournies par quelques exposants. — Ce recueil est même la partie de notre travail réellement essentielle à consulter.

Parmi les documents que nous avons réunis se trouvent les tableaux dressés par les soins du Comité d'admission de la classe 63, des dimensions principales de toutes les machines : entre autres les surfaces de chauffe et de la grille, le timbre, le diamètre et la course des pistons, le diamètre des roues, le poids adhérent et le poids total. Toutes ces données permettront aux personnes compétentes de comparer les machines, d'estimer approximativement quelles sont celles qui doivent le mieux satisfaire aux conditions de leur programme; et à l'aide des coefficients usuels d'adhérence, de production, de rendement, etc., de traduire en chiffres l'effet probable de chacune d'elles, dans les différentes circonstances de vitesse, de rampes, où elles seront appelées à fonctionner.

APPAREILS DE TRACTION POUR VOIES FERRÉES, AUTRES QUE LES LOCOMOTIVES.

La vingt et unième section des membres de la Société des ingénieurs civils chargés d'examiner les produits à l'Exposition universelle de 1867 avait, en outre des locomotives et tenders composant le matériel de traction des chemins de fer, à rendre compte du matériel et machines pour plans inclinés et pour plans automoteurs, du matériel et machines pour chemins atmosphériques, des modèles de machines des systèmes différents de traction, relatifs aux voies ferrées.

Autant l'Exposition est riche et brillante en locomotives de toute espèce, en pièces détachées pour machines et tenders, ou en matières propres à leur fabrication, autant elle est remarquable par les dispositions nouvelles et les tendances que nous avons rapportées, — autant est pauvre et restreinte la partie de l'Exposition qui renferme les appareils de locomotion sur voie ferrée, autre que les locomotives ordinaires. Nous n'avons trouvé que cinq objets différents, qui sont les suivants :

1° Système Agudio. — Le système funiculaire Agudio est représenté par un très-beau spécimen de son locomoteur, qui contient une modification capitale du système primitif.

On sait qu'autrefois l'inventeur se servait de deux câbles métalliques. L'un, fixe, était une véritable chaîne de touage, qui fournissait le point d'appui nécessaire à la locomotion; l'adhérence du locomoteur n'était pas utilisée. L'autre câble, mobile, transmettait à distance la puissance de machines fixes dont le travail était transformé et utilisé par l'intermédiaire d'un récepteur, qui n'était autre chose que le toueur locomoteur.

Dans la nouvelle disposition, M. Agudio supprime complétement le câble de touage, dont il remplace l'importante fonction : 1° par l'adhérence naturelle des roues porteuses du locomoteur, qui sont accouplées et solidaires du récepteur de la puissance transmise par le câble mobile: cette adhérence est de huit tonnes; 2° par l'adhérence de trois groupes de galets horizontaux qui pressent entre eux un rail central comme dans la machine Fell; ces galets étant solidaires, également, du récepteur de puissance, et par conséquent moteurs : cette deuxième partie de l'adhérence, réglée par des ressorts de pression, serait de trente tonnes.

Il utilise aussi les deux brins, montant et descendant, du câble moteur pour transmettre simultanément le travail au locomoteur.

L'appareil est pourvu de deux sortes de freins : 1° d'un système propre à produire l'arrêt du train, et son amarrage sur la pente, et qui consiste en une griffe ou tenaille dont les mâchoires, serrées par une vis mue à la main saisissent énergiquement le rail central; 2° d'un système modéra-

teur, qui n'est autre que l'embrayage à friction qui transmet la puissance des poulies d'enroulement du câble au système des roues porteuses motrices et des roues horizontales également motrices : embrayage dont l'isolement, la fonction incomplète, ou la pleine fonction, produisent respectivement la descente du locomoteur et du train, ou permettent son arrêt; une descente ou une montée ralenties et graduées à volonté par la friction des deux parties de l'embrayage ; enfin, la montée avec toute la vitesse correspondante à celle du câble.

On voit que dans son nouveau locomoteur funiculaire, M. Agudio emprunte le système Hirn, des câles télodynaniques pour transmettre la puissance, et le rail central, déjà anciennement connu et utilisé dans le système Fell, pour obtenir la majeure partie de l'adhérence voulue. M. Agudio, à l'occasion de l'Exposition universelle, a publié une brochure qui renferme la description de son locomoteur, et les résultats des expériences qui ont été faites.

2° MOLINOS ET PRONNIER. FREIN. — MM. Molinos et Pronnier ont exposé un petit modèle du frein automoteur qu'ils ont construit pour la sécurité des trains de leur système de chemin de fer à plans inclinés de Lyon à la Croix-Rousse. Cet appareil concerne les wagons, et non les locomotives ou locomoteurs.

3° PROJET BERGERON. — M. Bergeron expose un petit modèle de son système de chemin pneumatique, qui consiste, comme on sait, à faire voyager dans un tube en maçonnerie ou en métal un véhicule qui remplit à peu près exactement, au moins sur une de ses tranches transversale, la section du canal, et dont la locomotion est produite par l'insufflation (ou la raréfaction) d'un grand volume d'air légèrement comprimé par des machines fixes, et régularisé par des cloches gazométriques. Cette insufflation pousse le train en avant. (Voir dossier 62.)

4° MAHOVOZ. — Enfin, M. Schoubersky, de Saint-Pétersbourg, expose le modèle, à petite échelle, d'un appareil de son invention qu'il nomme Mahovoz, et dont le but est de servir de locomoteur sur les chemins accidentés, et à très-fortes rampes, sinon complétement, du moins comme aide et annexe d'un autre moteur.

Le principe de cette invention est d'emmagasiner la puissance vive disponible développée par la descente des trains sur les pentes, pour récupérer et utiliser à la montée cette puissance vive qu'autrement il faudrait annuler d'une manière continue, par les freins. M. Schoubersky réalise cette accumulation de travail au moyen d'un volant, ou d'un système de volants, dont le mouvement est solidaire des roues des véhicules sur lesquelles il est porté, et dont le mouvement d'accélération est lié conséquemment à l'accélération du train, sous l'action de la pesanteur.

Pour qu'un dispositif semblable puisse accumuler l'énorme travail développé par la descente d'un train, même de poids très-modeste, nous ne dirons pas, sur une de ces longues rampes de douze à quinze kilomètres, et plus, mais simplement sur une rampe de quelques kilomètres, et restituer ce travail pour remonter une rampe consécutive, il faudrait des volants de dimension et de poids tellement grands, qu'ils excéderaient certainement de beaucoup le poids brut du train, nonobstant la vitesse de rotation des volants la plus grande, compatible avec le diamètre maximum possible, et la résistance des matériaux de la plus parfaite qualité.

Cette invention n'est selon nous, et ne peut être qu'un objet de curiosité, et n'est susceptible d'aucune application industrielle.

5° La locomotive Fell, à rail central, dont l'envoi à l'Exposition avait été annoncé, n'est pas venue occuper la place qui lui avait été réservée. Il n'y a donc pas lieu de faire aucune mention technique de cet appareil.

OUTILLAGE SPÉCIAL DES ATELIERS DE CHEMINS DE FER.

La vingt et unième section avait encore à s'occuper des machines et de l'outillage des ateliers d'entretien, de réparation et de construction du matériel des chemins de fer; étude qui nous replace encore une fois dans une des parties de l'Exposition les plus intéressantes et les mieux représentées : les machines-outils pour le travail des métaux et du bois en général.

On sait en effet que parmi les établissements accessoires de toute nature qui sont nécessaires à l'exploitation des chemins de fer, l'un des plus importants est celui des ateliers qui servent à l'entretien de leur immense matériel. Chaque Compagnie possède plusieurs ateliers, dont les principaux sont des usines de premier ordre. Ces ateliers sont destinés, avant toutes choses, à la réparation des machines des tenders et des wagons ; mais en outre, on y construit assez souvent à neuf, et de toutes pièces, d'autre matériel, tel que machines fixes, pompes, réservoirs, grues, plaques tournantes, chariots; partie du menu outillage de la voie et de l'exploitation, ameublements des gares et annexes, etc.

Ces ateliers nécessitent donc le concours des métiers les plus divers, et par conséquent tous les engins nécessaires à l'outillage des ateliers de construction générale de machines sont nécessaires au même titre à l'outillage des ateliers de chemins de fer : outils à bois et à métaux, de forge, de chaudronnerie, etc. En fait, cet outillage général constitue la majeure partie du matériel des ateliers de chemins de fer, et la nomenclature en est pour ainsi dire la même. — Le nombre des outils spéciaux

nécessaires au travail des roues.

Les considérations qui précèdent nous ont naturellement conduit à classer les machines-outils employées par les ateliers des chemins de fer en deux groupes bien distincts. Le premier groupe, comprenant les machines-outils en général, constitue un catalogue immense dont l'étude est du ressort de la dix-septième section. — Quant aux machines spéciales qui forment le deuxième groupe, nous signalons les outils nouveaux que nous avons remarqués, et qui sont d'ailleurs en nombre très-restreint. Ce sont :

1° Tour a essieux de Whitworth. — Un tour à essieux droits de Whitworth, de Manchester, qui permet de tourner simultanément les deux fusées, c'est-à-dire les deux extrémités de l'essieu. Le banc de ce tour est en fonte, et il a une longueur d'environ 4m.50. La hauteur des pointes est d'environ 0m.38; les deux poupées sont identiques et n'ont que des pointes sur lesquelles est monté l'essieu. Au milieu de la longueur du banc, entre les pointes, est une troisième poupée à lunettes qui porte les engrenages de la transmission. Ces engrenages, disposés pour procurer les vitesses convenables et variées, recoivent le mouvement d'un arbre latéral parallèle au banc et fixé contre lui, qui porte les poulies de commande à l'une de ses extrémités, mouvement qu'ils transmettent à la lunette qui tourne dans un support fixe attenant à la poupée. Cette lunette porte un toc qui entraîne l'essieu. Elle est garnie extérieurement d'un excentrique de grand diamètre, dont la fonction est d'actionner un arbre latéral extérieur au banc qui porte à chaque extrémité les cliquets de commande de deux demi-vis longitudinales, intérieures au banc, filetées inversement, pour le mouvement de translation de deux supports à chariot porte-lames.

Ce tour, qui est exécuté avec le soin et la solidité habituels à la maison Whitworth, remplace deux tours ordinaires de même importance, et fait dans le même temps autant d'ouvrage qu'eux. Il occupe donc moitié moins de place et coûte moins cher; son prix, rendu à Paris, est de 276 livres, soit 6,900 francs. — C'est un excellent outil qui est destiné à figurer dans tout atelier qui a constamment des essieux à mettre sur pointes.

2° Machine Scharp a tailler les jantes de roues. — La maison Scharp-Stewart, de Manchester, expose une machine à tailler les parties arrondies de l'intérieur des jantes des roues en fer. Sur une pierre de fondation ou autrement, est fixé un banc plein, servant de support à un balancier à axe horizontal qui oscille dans le plan vertical longitudinal élevé sur le milieu de la largeur du banc. L'une des extrémités du balancier est actionnée par un système de poulies et engrenages solidaires d'une poupée-support fixée au banc. L'autre extrémité du balancier est faite en porte-

outil à tourillon qui reçoit une lame dont le taillant décrit un arc qui engendre la surface voulue. La roue est fixée sur un plateau horizontal, mobile autour d'un axe vertical placé sur le milieu de la machine, dans le plan d'oscillation du balancier. Ce pivot et son plateau peuvent glisser dans une rainure du banc, de manière à permettre de tailler les roues de $0^m.900$ à la jante jusqu'à $2^m.50$ et au delà.

Cet outil très-ingénieux, qui peut avoir une certaine utilité pour parer les jantes des roues qui ne sont pas étampées en matrices, n'a aucune raison d'être en présence des roues obtenues par les procédés que nous avons décrits plus haut.

3° Scharp. Machines a faire les mortaises. — MM. Scharp-Stewart ont une série d'outils propres à percer les mortaises, rainures et autres évidements de formes et dispositions diverses, et pouvant également servir à percer et à planer de petites surfaces.

La plus importante de ces machines est double, et est susceptible d'une application spéciale pour percer simultanément les mortaises de clavettes, les cages, trous, etc., des deux têtes d'une même bielle. La lame est un foret vertical en forme de fraise, portée par une poupée qui glisse horizontalement et se promène le long du banc. Quelquefois (dans d'autres outils) c'est la table même sur laquelle est fixée la pièce qui reçoit le mouvement de va-et-vient, comme dans les machines à raboter.

Ce genre de machines, quoique en usage depuis plusieurs années déjà, constitue un type tout moderne, qui peut être utilisé pour une multitude d'ouvrages différents, et dont l'emploi se généralisera probablement de plus en plus. Le dossier comprend une notice-prospectus de MM. Scharp-Stewart.

4° Machine a longerons. — On trouvera également, dans le dossier des machines-outils, les dessins photographiés et la notice d'une nouvelle et très-belle machine, exposée par M. Mesmer, directeur de l'usine de Graffenstaden, dont le but est de découper par voie de perçage et de mortaisage un paquet de longerons de 20 centimètres d'épaisseur, de 9 à 10 mètres de longueur, et de $1^m.60$ de largeur. Elle se compose d'un banc de 11 mètres de longueur et de 0.60 de hauteur, le long duquel cheminent trois chariots en arcade, indépendants l'un de l'autre, pouvant fonctionner à la main ou mécaniquement, comme tous les autres mouvements de la machine, et pourvus chacun d'un appareil de mortaisage et un de perçage. Les forets de perçage peuvent faire des trous de 8 centimètres et même découper des rondelles d'un plus grand diamètre. L'appareil de mortaisage peut faire des rainures longitudinales (perceuse arrêtée), ou bien transversales, ou partie circulaires, le chariot arrêté; et alors la perceuse peut fonctionner simultanément.

Chaque chariot peut empiéter sur la partie voisine du champ de travail du chariot voisin.

La machine de M. Messmer a sa place marquée dans tous les grands ateliers qui s'occupent de la réparation, et principalement de la construction des machines-locomotives. Les ateliers de moindre importance, qui n'ont pas toujours des longerons à découper, pourront aussi l'utiliser. Car, indépendamment de sa destination spéciale, cette machine réalise de fait six puissantes machines-outils, dont trois à percer et trois à mortaiser, pouvant travailler soit simultanément, soit à raison d'un outil par chariot, pour la confection de pièces détachées.

5° Bascule décuple de M. Sagnier. — M. Sagnier expose une bascule décuple pour le pesage des locomotives, dont les particularités consistent en ce que les ponts, les tabliers et le bâti d'ensemble sont construits totalement en fer; ce qui aurait pour avantage de prévenir les déformations dues à l'humidité, et le déréglage fréquent qui en résulte pour les couteaux de suspension. Les tabliers sont surmontés de rails en acier Bessemer. Les paliers en fonte, au lieu d'être reliés de deux en deux, le sont quatre par quatre et forment un palier quadruple de grande surface, et qui aurait ainsi une stabilité plus grande. Les dix plateaux et fléaux de pesage sont placés d'un même côté de la machine.

M. Sagnier a, en outre, une bascule à un seul pont, également en tôle de fer, pouvant supporter le passage d'une locomotive de 30 tonnes. Elle est pourvue à cet effet d'un appareil de calage, qui permet aux couteaux de suspension de supporter, sans souffrir, les ébranlements dus au passage d'une aussi forte charge.

6° Bascule portative Hartmann. — Enfin, M. Richard Hartmann, de Chemnitz, présente une petite bascule romaine, du poids de 50 kilogrammes environ, qui est propre au pesage de la charge sur les roues et au réglage des ressorts des machines. Cet appareil se pose à terre, dans le plan de l'essieu; et la roue est saisie par le rebord du bandage, qui désaffleure le rail extérieurement, par un couteau qui termine la petite branche du levier de la romaine. Le point d'appui de ce levier est pris sur une traverse inférieure qui s'appuie sur le rebord du rail (rail Vignolle), ou autrement. Une vis de rappel permet de placer cette traverse horizontalement.

Pour régler une locomotive, il faut autant d'appareils que la machine a de roues.

RÉSUMÉ.

Après avoir esquissé l'ensemble de l'Exposition de 1867 et les tendances qui semblent résulter du choix des modèles et des dispositions adoptées par les ingénieurs et les constructeurs, après avoir signalé les innovations et les améliorations nombreuses qui ont été apportées dans la construction de l'ensemble et des détails des machines, dans les accessoires et dans l'emploi des matières, il nous a paru utile de résumer brièvement, ainsi qu'il suit, les faits principaux qui ressortent de cette étude :

COUP D'ŒIL SUR LES TYPES DES LOCOMOTIVES. — La puissance des locomotives, principalement de celles pour trains de marchandises et de montagne, s'accroît incessamment, par suite de l'augmentation du trafic et de l'extension des réseaux de chemins de fer.

La construction de locomotives d'une légèreté excessive pour l'exploitation de chemins de fer économiques, chemins vicinaux, de mines, d'usines, etc., reçoit un commencement d'exécution.

Les machines à roues libres sont délaissées, et ne se font plus que pour la grande vitesse : sur trente-trois locomotives exposées, il n'en existe que trois à roues libres. On remarque qu'elles sont, ou construites en Angleterre, ou destinées à ce pays.

L'accouplement de deux paires de roues des locomotives express se développe de plus en plus (5 mach. sur 33).

Les types actuels de machines mixtes à trois essieux ne diffèrent pas beaucoup des types qui étaient déjà en usage il y a environ une douzaine d'années.

Il y a une tendance marquée à revenir au système des machines à deux essieux (6 mach. sur 33). Elles sont toutes à roues accouplées. Elles sont employées principalement pour les petites machines de chemins vicinaux, d'usines, etc.; cependant, deux d'entre elles sont d'une puissance équivalente à celle des machines mixtes actuelles.

L'emploi des machines-tender se développe toujours davantage, et ce genre de locomotives comprend le tiers des machines exposées, qui, à une seule exception près, ont toutes la totalité de leurs roues accouplées. Elles sont à deux, trois, quatre, cinq et six essieux.

Les plus petites machines et quelques-unes des plus grandes sont des machines-tender.

Les machines à marchandises, c'est-à-dire celles qui ont toutes les roues accouplées et qui comprennent la série des machines-tender, forment plus de la moitié de l'effectif de l'Exposition. Cette classe de ma-

chines est remarquable par la diversité des modèles, et le grand nombre des types de grande puissance.

Les tenders de l'Exposition sont au nombre de six seulement. Ils ne présentent aucune innovation importante. L'amélioration principale de ces engins réside surtout dans la qualité et la forme des matériaux employés à leur construction.

Chaudières. — Le placement de l'essieu d'arrière des locomotives sous le foyer prend un développement considérable. Cette disposition est appliquée à treize machines sur 33. Elle intéresse principalement la grille et le foyer qui peuvent recevoir des dimensions inusitées. Elle procure un accroissement important de la puissance des machines et une répartition de la charge sur les essieux aussi bonne que possible. — Elle permet la généralisation de l'emploi des menues houilles de certaine qualité, ordinairement de moindre valeur, et, conséquemment, une économie importante dans les frais d'exploitation.

L'élévation du timbre des chaudières des locomotives est incessant et général.

Le diamètre moyen des chaudières de locomotives, qui n'avait jamais dépassé 1m.50, atteint pour la première fois un diamètre supérieur, de 1m.60.

L'augmentation du timbre et du diamètre des chaudières est devenue possible par les améliorations survenues dans la fabrication des tôles de fer et d'acier, et par l'extension de l'emploi de ce dernier métal, dont la fabrication a fait des progrès importants.

Les tôles de fer et d'acier sont fabriquées dans des dimensions extraordinaires, qui permettent de faire d'une seule feuille les viroles du plus grand diamètre et les enveloppes de foyer. Ces tôles de grande dimension peuvent avoir les épaisseurs usuelles et même davantage.

On est parvenu (Low-Moor) à fabriquer des viroles sans clouure longitudinale, laminées en bagues, comme les bandages.

On fabrique aussi (Low-Moor) des tôles à bords épaissis d'une quantité équivalente au vide des trous de rivets.

La maison Borsig présente des massiaux de 1,100 kil., provenant d'une seule boule de puddlage. Les produits, tôle ou pièces de forge ainsi obtenus, sont mieux soudés, plus homogènes.

La qualité des cuivres, excellente jusqu'en 1853, subitement déchue vers cette époque, est redevenue meilleure. Les pièces de cuivre de la forme la plus tourmentée sont obtenues avec une perfection qui ne laisse rien à désirer.

L'usage des entretoises perforées, pour accuser les ruptures, reçoit des applications.

Les grilles à grande surface pour l'emploi des menus combustibles ou

pris un développement considérable en Belgique, et ont pris racine en quelques autres endroits.

Le ciel des foyers de grande longueur est armé soit par des entretoises qui le relient au dôme de l'enveloppe extérieure qui, en ce cas, est plate et parallèle au ciel du foyer; soit par des fermes transversales, avec consoles d'appui.

L'adjonction de bouchons de lavage, au niveau du ciel du foyer, a reçu quelques applications. Un grand nombre de machines sont pourvues d'un ou deux trous d'hommes à fermeture autoclave, placés sous le corps cylindrique.

Les locomotives munies d'appareils fumivores sont en minorité, et les différentes espèces d'appareils appliqués sont aussi en très-petit nombre. Ce sont exclusivement ceux qui ont reçu une application industrielle, sanctionnée par l'expérience. Aucun de ces appareils n'a une marche spontanée.

La plupart des machines étrangères ont des cheminées coniques. La France ne fait toujours que des cheminées cylindriques.

Le nombre des machines dont l'échappement est fixe est à peu près égal à celui des machines à échappement variable. Ce sont les machines étrangères qui emploient le plus l'échappement fixe, qui est presque toujours accompagné d'un cendrier fermé, dont on règle l'ouverture par un volet mobile.

On ne trouve plus de machine qui ne soit pourvue du souffleur.

L'emploi de l'injecteur Giffard est devenu général. A quelques exceptions près, les pompes ont partout disparu. L'injecteur n'a pas reçu de modification bien importante.

Appareil moteur. — La coulisse Stephenson, commandée par deux excentriques, n'a pas cessé d'être le mode de distribution et de changement de marche partout employé. Il n'existe à l'Exposition qu'une seule exception : la distribution Walshaërts, à un seul excentrique, qui est appliquée à trois des machines belges.

La coulisse rectiligne d'Allen est appliquée à un grand nombre de locomotives.

Il y a une tendance marquée à transporter à l'extérieur des machines le mouvement de distribution, comme dans les machines Crampton (9 machines sur 33).

Les manivelles motrice et d'accouplement, à moyeu-fusée, qui facilitent l'emploi du système à longerons extérieurs, avec cylindres extérieurs, sont appliquées à un certain nombre de machines.

L'emploi de l'acier fondu pour la construction des pièces du mouvement, et principalement des bielles motrices et d'accouplement, se développe de plus en plus.

fondu.

Le métal blanc ou régule donne de très-bons résultats, et reçoit partout de nombreuses applications.

APPAREIL PROPULSEUR. — Le procédé Arbel, pour la fabrication des roues de locomotives, de tenders et de wagons, est la fabrication mère des procédés le plus généralement employés aujourd'hui.

Les types de roues pleines, sans rayon, sont assez nombreux; ils ne sont employés que pour les tenders et les wagons. Les roues des machines sont presque toujours à rais, et celles qui sont pleines sont de petit diamètre. Bochum expose des roues pleines en acier fondu de très-grand diamètre; mais aucune des machines exposées n'est garnie de roues semblables.

Les roues de la machine américaine et de son tender sont toutes en fonte et à rais. Cette manière de construire n'est pas admise en Europe; elle n'y est employée que rarement, et ordinairement pour des roues de très-petit diamètre.

La fabrication des bandages en barres rectilignes a complétement disparu. On ne fait plus que des bandages annulaires avec ou sans soudure, qu'ils soient en fer ou en acier, et qu'ils soient destinés aux machines, aux tenders ou aux wagons.

L'amélioration de la qualité des aciers divers et le grand développement de l'emploi de ce métal pour la fabrication des bandages ne semblent pas devoir faire encore de sitôt disparaître les bandages en fer, qui continuent à être en usage sur une très-grande échelle.

Les essieux droits et les essieux coudés, pour machines et pour tenders, se font toujours également en fer fin ou en acier de diverses natures. Pour les essieux coudés, les avis sont partagés ou indécis sur la préférence à accorder à l'un ou à l'autre métal; car la durée moyenne des essieux de fer augmente sans cesse, et celle des essieux en acier fondu ne paraît pas en rapport avec leur prix élevé.

Le seul fait important à signaler, relativement aux boîtes à graisse, est l'extension de l'application des plans inclinés pour le jeu latéral nécessaire au passage des courbes de faible rayon.

Les ressorts de suspension des machines et tenders sont construits et installés suivant les anciennes méthodes, et ne donnent lieu à aucune remarque importante. Cependant la machine express, construite par le Creusot pour l'Angleterre, et son tender, ont une suspension mixte en ressorts d'acier et de caoutchouc.

L'usage de balanciers compensateurs de suspension est devenu presque général. La plupart des machines de l'Exposition en sont plus ou moins complétement pourvues.

Toutes les manières anciennement connues de disposer les longerons

du châssis, intérieurs ou extérieurs, ou à la fois intérieurs et extérieurs, sont également représentées à l'Exposition; et on ne peut pas dire qu'un des systèmes ait une tendance à prévaloir sur les autres.

On remarque deux dispositions nouvelles de longerons : l'une, appliquée à deux machines dont l'essieu d'arrière est placé sous le foyer, est à longerons intérieurs aux roues dans toute la longueur de la machine, et avec longeron partiel extérieur; elle a pour but de transporter la boîte à graisse en dehors des roues, afin de la soustraire à l'action du feu. — La deuxième disposition consiste à former chaque longeron de deux parties dont aucune n'a la longueur totale de la machine. La partie d'avant est intérieure aux roues, et celle d'arrière est extérieure. Les deux parties sont réunies entre elles par un solide assemblage. Cette méthode a été réalisée d'une autre manière et déjà anciennement par le chemin de fer de l'Est, pour le découplement de ses machines Engerth, au moyen d'un longeron coudé.

Les longerons découpés dans une table de métal laminé, de forme rectangulaire ou festonnée, de manière à obtenir d'une seule pièce le brancard, les plaques de garde et leurs entretoises, les pattes de supports des rotules, les chasse-pierres, freins, etc., sont adoptés d'une manière à peu près générale. Cependant on fait encore des longerons à double épaisseur, formés de deux lames jumelles ainsi découpées dans des tôles minces.

Le système des longerons formés d'un brancard avec plaques de garde rapportées subsiste encore, mais il est de plus en plus délaissé, pour ne pas dire abandonné.

L'emploi des tôles d'acier pour y découper les longerons a fait sa première apparition.

Trois des machines de l'Exposition présentent des manières exceptionnelles de construire les longerons des machines et des tenders.

1° Longerons en fer à double T de grande dimension, découpés pour les plaques de garde, ou avec des plaques de garde rapportées (machine de Graffenstaden).

2° Longerons en grosses barres forgées, de forme rectangulaire, contre-coudées, et avec pièces de forge rapportées pour former les plaques de garde (machine américaine). Cette construction est usuelle en Amérique.

3° Longerons en tôle découpée, formant les parois latérales d'une soute à eau (Krauss).

Il y a une tendance assez prononcée à remplacer les traverses en bois qui relient les extrémités d'avant et d'arrière des longerons, surtout celles d'arrière, par des traverses métalliques conjuguées avec les tôles de l'attelage, de manière à former une poutrelle solide.

Les traverses intermédiaires qui servent à relier les longerons à la chaudière sont, de manière ou d'autre, presque universellement disposées à glissement, sinon à supports légèrement flexibles, pour permettre la libre dilatation de la chaudière sans fatigue pour les longerons ni pour la chaudière.

Les tampons de choc sont tous ou en caoutchouc ou en ressorts d'acier, soit en spirales, soit à lames étagées.

L'attelage d'arrière de machine à tender n'a pas été modifié et se fait toujours par les moyens anciennement pratiqués. L'appareil Stradal semble résoudre d'une manière pratique le problème de l'attelage de la machine par son centre de gravité ou d'oscillation.

ACCESSOIRES. — L'emploi de la sablière est devenu universel. Il n'y a, pour ainsi dire, plus de locomotive qui en soit dépourvue.

Il y a une tendance générale à garnir les machines d'un abri, dont l'importance varie depuis la forme d'un simple écran à lunettes jusqu'à celle d'une guérite ouverte seulement à l'arrière, vitrée sur l'avant et sur les deux côtés.

Dans la période décennale qui vient de s'écouler, la question des freins a progressé d'une manière sérieuse. La voie, vraiment féconde en bons résultats, est celle où les inventeurs se sont basés sur le principe de mettre la direction et la manœuvre des freins à la discrétion du mécanicien. Tels sont :

1° Le frein Guérin, aujourd'hui délaissé, mais qui a reçu à une certaine époque un développement considérable.

2° Le frein Achard, qui a été l'objet d'essais à grande échelle, prolongés pendant longtemps, et qui a dû son insuccès principalement à la difficulté des communications électriques.

3° L'addition aux locomotives d'un frein à main énergique, quel que soit son système, dont l'application a pris une grande extension.

4° L'invention toute récente des freins à gaz, air ou vapeur, comprimés par les pistons, et qui promet les meilleurs résultats.

Le remplacement du levier à verrous avec secteur à crans pour la manœuvre du changement de marche par l'appareil à vis de Kitson, à peine mis à l'essai, reçoit des applications extrêmement nombreuses, et paraît destiné à se substituer dans une courte période aux anciens dispositifs.

Pour faciliter les passages de courbe de petit rayon, qui deviennent de plus en plus fréquentes dans les tracés actuels, on emploie deux systèmes : 1° Châssis rigide avec déplacement latéral des essieux parallèlement à eux-mêmes; 2° châssis articulés. — Le premier système est pratiqué assez largement. Le deuxième l'est beaucoup moins, et, pour ainsi dire, seulement dans des essais.

collets des fusées d'essieux qui glissent dans les boîtes un jeu qui atteint des proportions parfois considérables, et qui laisse les essieux flottants.

L'appareil Caillet, destiné à combattre le flottement des essieux qui ont beaucoup de jeu latéral, a reçu un certain nombre d'applications.

La disposition des plans inclinés ajoutés aux boîtes pour atteindre le même but, très-simple, très-solide, paraît offrir une excellente solution, et reçoit des applications importantes.

Les inconvénients qui pourraient résulter des efforts obliques sur les tourillons des bielles d'accouplement, par suite de ces grands déplacements d'essieux, sont amoindris par l'emploi de tourillons sphériques, ou par la double brisure verticale et horizontale de la ligne des bielles d'accouplement, ou par l'emploi simultané de ces deux moyens ; ou enfin en laissant aux têtes de bielles sur les boutons un jeu latéral, respectivement égal à celui des boîtes sur les fusées.

Le système des machines à châssis articulés comprend deux séries : dans la première série sont les machines à deux cylindres, qui transmettent le mouvement aux roues de l'un des châssis seulement (machine américaine et machine Saint-Léonard) ; ou, à la fois, à celles des deux châssis par des bielles d'accouplement dites articulées (machine Steïerdorf, exécutée; les deux projets Rarchaërt, inexécutés; projet Gouin, inexécuté). La deuxième série comprend les machines à quatre cylindres, actionnant des groupes de roues non reliés entre eux (machine à tender moteur de l'Est, exécutée ; projet Boutmy et projet Thouvenot, inexécutés ; série des projets Meyer, inexécutés; projet Fairlie).

Le prix des machines locomotives s'est abaissé d'une manière extraordinaire. Celui des tenders s'est aussi abaissé, mais dans une moindre proportion.

Appareils de traction autres que les locomotives. — Cette partie de l'Exposition est pauvre et des plus restreintes. Elle ne contient ou que des projets : système pneumatique Bergeron, Mahovoz ; ou les spécimens de systèmes dont l'exécution ne peut être considérée que comme essai : système funiculaire Agudio à rail central modifié, frein Molinos et Pronuser appliqué aux véhicules du plan incliné de la Croix-Rousse à Lyon.

Outillage spécial des ateliers de chemins de fer. — Les ateliers de réparation des chemins de fer comportent à peu près le même outillage que les ateliers de construction générale, et la nomenclature des outils en est à peu près la même. Le nombre des outils spéciaux est très-restreint.

L'Exposition est riche en machines-outils du premier groupe, dont l'étude est du ressort de la dix-septième section de la Société des Ingénieurs civils.

Dans le deuxième groupe, les outils nouveaux que présente l'exposition sont en nombre très-limité. Ce sont :

1° Le tour à essieux droits de Withworth, pouvant tourner à la fois les deux extrémités d'un même essieu.

2° La machine Scharp, à tailler les parties arrondies de l'intérieur des jantes de roues.

3° La machine Scharp-Stewart, à faire les mortaises, rainures, trous, petites facettes, au moyen d'une fraise. Elle est à deux outils, et peut s'employer avantageusement pour les têtes d'une même bielle.

4° La grande machine triple de Graffenstaden, pour découper un paquet de longerons pour machines locomotives.

5° La bascule décuple, à ponts et à bâtis métalliques, de M. Sagnier.

6° La petite bascule portative de M. Hartmann, pour le réglage de la charge sur les roues des locomotives.

Paris, le 15 juillet 1868.

CATALOGUE

DES PIÈCES RÉUNIES PAR LA 21e SECTION

DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SUR L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867.

(CLASSE 63.)

DOCUMENTS GÉNÉRAUX.

Le présent Catalogue.

Rapport sur l'ensemble de l'Exposition de 1867, par F. Bonnet, secrétaire-rapporteur de la 21e section.

Tableaux des dimensions principales des locomotives et tenders de l'Exposition de 1867, publiés par le Comité d'admission (deux tableaux).

Corrections à faire aux deux tableaux qui précèdent.

Ensemble des diagrammes au 1/100 des locomotives de l'Exposition.

LOCOMOTIVES ÉTRANGÈRES.

No 1. Couillet.

Description.

Notice de l'Exposant, et tableau des dimensions principales.

Calque au 1/10 : Plan et coupes diverses.

Croquis au 1/40 de l'ensemble de la machine.

Deux lettres de l'usine de Couillet.

No 2. Cockerill.

Description.

Notice de l'Exposant.

Trois calques à l'échelle de 1/5. { Coupe longitudinale. / Vue extérieure longitudinale. / Plan.

No 3. Evrard.

Description.

Deux plans autographiés au 1/10. { Coupe longitudinale et plan. / Vue extérieure longitudinale par bout et coupe transversale.

N° 4. Saint-Léonard.

Description.

Brochure autographiée contenant { Notice de l'Exposant. Dimensions principales. Quatre planches autographiées au 1/20.

Plan autographié de la distribution Walshaërts.

N° 5. Carels.

Description.

Tableau des dimensions principales.

Calque au 1/20 avec dimensions principales, et notice de l'Exposant.

Quatre calques au 1/10. { Vue extérieure longitudinale. Plan. Coupes transversales. Ensemble du frein.

N° 6. Borsig.

Description.

Tableau des dimensions principales.

Calque au 1/8 : Coupe longitudinale.

N° 7. Hartmann.

Description.

Calque au 1/10 : Vue longitudinale.

N° 8. Krauss.

Description.

Notice de l'Exposant.

Tableau des dimensions principales.

Calque au 1/10, donnant deux coupes de la machine.

Un croquis de la section des bielles motrice et d'accouplement.

Trois lettres de l'Exposant ou de son correspondant.

N° 9. Kessler.

Description.

Calque au 1/8 : Plan, coupe et vue de bout.

Photographie de la machine.

N° 10. Carlsruhe.

Description.

Notice de l'Exposant.

Deux plans autographiés au 1/10. { Vue longitudinale et plan. Coupes transversales.

Deux lettres de l'Exposant ou de son correspondant.

N° 11. Sigl (Mixte).

Description.

Calque au 1/12 : Plan, coupe et vues diverses.

N° 12. Sigl. (8 roues accouplées.)

Description.

Notice de l'Exposant en langue allemande.

Notice de l'Exposant, traduite en français.

Tableau très-détaillé des dimensions principales.

Trois calques au 1/10 : Vue extérieure longitudinale, plan, vues par bout.

Lettre de l'Exposant.

Locomotives, système Hall; brochure en allemand, par G. Sigl.

Bordereau de pièces justificatives produit par M. J.-J. Meyer, revendiquant les manivelles Hall comme de son invention.

Deux lettres de M. J.-J. Meyer à M. Bonnet (secrétaire de la 21e section).

N° 13. Steierdorf.

Description.

Brochure imprimée contenant : { Notice de l'Exposant. Tableau des dimensions principales. Quatre planches gravées.

N° 14. Grant.

Description.

Notice. Vues diverses gravées. } Extraits du *Engineer*, vol. XXIV, n° 607, 16 août 1867.

Photographie d'un dessin donnant : plan, coupes et vues diverses.

Traduction en français de la notice du *Engineer*.

Voir : *Engineering*, vol. IV, n° 82, 26 juillet 1867. Machine et son tender.

N° 15. Stephenson.

Description.

Prospectus avec croquis.

Voir : *Engineering*, vol. III, n° 69, 26 avril 1867. Plan et description.

N° 16. Kitson.

Description.

Voir : { *Engineer*, vol. XXIV, n° 608, 23 août 1867. Plans et description. *Engineering*, vol. III, n° 72, 17 mai 1867. Id.

N° 17. Lilleshall.

Description.

Calque au 1/16 : Vue longitudinale.

Voir : *Engineering*, vol. III, n° 69, 26 avril 1867. Description et vue extérieure.

N° 18. Hugues.

Description.

Calque, vue extérieure longitudinale avec notice de l'Exposant.

N° 19. Ruston-Proctor et Cie.

Description.

Voir : *Engineering*, vol. IV, n° 97, du 8 novembre 1867. Plans et description.

N° 31. Creusot. (Grande vitesse.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Dessin autographié au 1/20 : Plan et coupes diverses.

N° 32. Graffenstaden.

Description.
Notice du constructeur et résultats d'expériences.
Profil de la ligne où ont été faites les expériences.
Trois plans autographiés au 1/20. { Vue extérieure longitudinale, de bout et plan. Coupes longitudinales, transversales et plan. Tender, vue et coupes diverses.
Lettre de M. Messmer, constructeur.

N° 33. Lyon. (Transformation.)

Description.
Trois calques. { Coupe longitudinale au 1/10 de la machine, avant transformation. Coupes longitudinales transversales; plan au 1/10 de la machine transformée. Piston Delpech. Grandeur.
Deux plans autographiés. { Appareil à contre-vapeur Lechatellier, et changement de marche à vis au 1/10. Appareil à injection pour frein Lechatellier (Grandeur).

N° 34. Nord. (Machine mixte.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Tableau des dimensions principales.
Trois calques. { Diagramme au 1/20 de l'ensemble de la machine. Coupe et vue longitudinale du châssis au 1/5. Plan du châssis au 1/5.
Nomenclature des pièces et documents fournis par la Cie du Nord pour ses trois machines exposées nos 34, 40 et 42.
Lettre de M. Petiet.

N° 35. Orléans. (Grande vitesse.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Deux planches gravées au 1/20. { Vue extérieure longitudinale et plan. Vue et coupe transversale. Élévation de la distribution.
Lettre de M. Forquenot.

N° 36. Creusot. (Machine tender à marchandises.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Dessin au 1/20 autographié (Plan et vues diverses).

N° 37. Est.

Description.
Notice de l'Exposant.
Deux profils (Forbach à Niederbronn, Luxembourg à Spa) à l'appui de la notice.
Spécimen au 1/50 autographié, avec tableau des dimensions principales.
Calque au 1/20 : Vue extérieure et plan de la machine et de son tender.

Trois photographies. { De l'ensemble de la machine et du tender attelés. / De la machine seule. / Du tender seul.

N° 38. Midi. (6 roues couplées.)

Description.
Notice de l'Exposant.

Trois calques au 1/10. { Coupe longitudinale de la machine. / Vue longitudinale. / Coupes transversales.

Lettre de l'Exposant.
Nomenclature des documents fournis par la Cie du Midi, pour ses deux machines exposées, nos 38 et 39.

N° 39. Midi. (8 roues accouplées.)

Description.
Notice de l'Exposant (voir dossier n° 38).
Calque au 1/10 : coupe longitudinale.

N° 40. Nord. (8 roues accouplées.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Tableau des dimensions principales (voir dossier n° 34).
Calque au 1/20. Plan, coupes, élévations.

N° 41. Orléans. (10 roues accouplées.)

Description.
Notice de l'Exposant (voir dossier n° 35).
Plan autographié au 1/20. Diagramme de l'ensemble de la machine.

Deux calques, grandeur d'exécution. { Boîtes à graisse à plans inclinés, roues d'avant. / Id. id. roues d'arrière.

N° 42. Nord. (12 roues accouplées.)

Description.
Notice de l'Exposant.

Tableau des dimensions principales (voir dossier n° 34).

Trois calques au 1/5.	Vue longitudinale extérieure de la machine.
	Plan.
	Coupes diverses pour la chaudière.

N° 43. Creusot. (Mines.)

Description.
Notice de l'Exposant.
Dessin autographié au 1/20 : Plan et vues diverses.

N° 44. Commentry.

Description.
Notice de l'Exposant.
Plan autographié au 1/25 : Plan et vues.
Une lettre de l'Exposant.

APPAREILS DIVERS.

N° 51. Rarchaërt.

Notice de l'Exposant.

Deux calques au 1/10.	Vue longitudinale du système.
	Plan, épure du mouvement.

N° 52. Boutmy.

Notice de l'Exposant.

Cinq calques au 1/10 et au 1/5.	Vue extérieure et plan.
	Coupes transversales, trois plans.
	Foyer. (Coupes diverses.)

N° 53. Thouvenot.

Notice de l'Exposant, de 1865, avec une planche gravée.
Autre notice de l'Exposant, de 1867.
Photographie du dessin qui figurait à l'Exposition de 1867.

N° 54. J.-J. Meyer.

Notice de l'Exposant.
Notice supplémentaire.

Six planches autographiées.	Quatre planches, plans, coupes, élévation longitudinale du type à quatre essieux, et détails de l'attelage de l'avant-train.
	Détails divers.
	Diagrammes au 1/100 de divers types.

Cinq croquis	{	Bielle, acier Bessemer, éprouvée. Bandage en acier puddlé, éprouvé. Tôle pour longeron. Tampon de choc. Régulateur, pour l'éclairage des wagons par le gaz.

Nº 61. Agudio.

Notice de l'Exposant, avec deux planches autographiées.

Nº 62. Bergeron.

Notice de l'Exposant sur les chemins de fer pneumatiques.

MACHINES-OUTILS.

Nº 71. Scharp-Stewart, etc.

Dessin-prospectus de la machine double à mortaiser.

Nº 72. Messmer. (Graffenstaden.)

Notice de l'Exposant. (Machine à découper les longerons.)

Deux photographies des dessins exposés.	{	Vues diverses de l'ensemble de la machine. Vues diverses de l'un des chariots.

Nº 73. Cie d'Orléans.

Machine à éprouver la résistance des métaux. (Calque au 1/10).

Nº 74. Sagnier.

Bascule à 10 ponts. (Notice par M. Gambaro.)

Trois calques au 1/10.	{	Coupe longitudinale. Coupe transversale. Plan.

Nº 75. R. Hartmann.

Bascule portative. Notice de l'Exposant.
Calque-croquis, avec notice de M. Gambaro.

DOCUMENTS GÉNÉRAUX.

Rectifications à apporter aux tableaux publiés par le Comité d'admission de la Classe 63.

PAR M. JULES MORANDIÈRE.

1° Graffenstadten. Machine Badoise; chaudière en acier fondu.

2° Nord. Machine mixte. Répartition. Avant...... 11800k

	—	....	11700
	—	....	9500
		En charge....	33000
		Vide	28600
Tender.		Vide	9800
—		Plein......	18600

3° Orléans. Machine mixte :

Diamètre des roues de support............ $1^{m},240$

Le foyer est muni d'un appareil fumivore, système Tenbrinck.

4° Creusot. Machine-tender : La répartition de la charge sur les roues est à vérifier.

5° Nord. Machines à quatre essieux couplés :

Contenance en eau de la chaudière......	$4^{m3},520$
Tender : Combustible.................	2,200k
— Poids à vide.................	9,600

6° Creusot. Tender du Great-Eastern :

Eau................	7,600k	
Combustible.........	3,500	
Poids à vide.........	12,175	
Total......	23,275	et non pas 22,275.

7° Est. Machine à tender moteur :

Tender :	Eau..........	8,000k
—	Combustible....	5,000
—	Poids à vide....	17,280
	Total.....	30,280 et non pas 28,170.

Le foyer de la machine contient un bouilleur vertical, dont la surface $3^{m2},33$ est comprise dans la surface de $14^{m2},85$ du foyer. — Le poids de ce bouilleur est compris dans le poids total et dans la répartition de la charge sur les essieux.

8° Nord. Machine à quatre cylindres :

Le volume d'eau de la chaudière ($3^{m},500$) comprend l'eau du réchauffeur d'eau.

L'addition des poids partiels donne pour la machine en charge 60500 kil. ; on a indiqué le poids 59500 kil., parce que l'on n'a pas tenu compte de tous les approvisionnements.

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture.

DRAINAGE.

Drainage et irrigations, par M. Longpérier.
Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Guide du draineur, par M. Faure.

GÉNÉRALITÉS.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Comité central agricole de la Sologne. (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861.)
Élagages des arbres, par M. le comte Des Cars.
Industries agricoles, par M. Ronna.
Procès-verbal de la réunion du comice agricole de l'arrondissement de Provins.

DIVERS.

Assainissement (Projet d') de la ville de Bruxelles, par la suppression radicale de l'insalubrité de la Senne, par la collecte sur place des engrais humains, et leur restitution intégrale à l'agriculture, par M. L. Renard.
Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.
Conservation (Sur la) des grains par l'ensilage, par M. Léon Malo.
Conservation (Sur la) des grains, par M. Delonchant.
Conservation des grains et des graines en magasins, par M. Urbain.
Culture maraîchère, par M. Courtois-Gérard.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.

Engrais (Annuaire des) et des amendements, par M. Rohart.
Engrais (Fabrication économique des), par M. Rohart.
Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.
Guide de chimie agricole, par M. Basset.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Émile Muller.
Labourage à vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pépin-Lehalleur.
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Manége Pinet (Rapport sur le).
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Phosphates de chaux en Angleterre, par M. Ronna.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Progrès de l'agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Registre des chevaux pur sang.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.
Topographie de tous les vignobles connus, par M. Jullien.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.
Utilisation des eaux d'égout en Angleterre, Londres et Paris, par M. Ronna.
Vignes du Midi, par M. Marès.

IRRIGATIONS.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Irrigation; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.
Irrigations (Recherches sur les eaux employées dans les), par MM. Salvetat et Chevandier.
Irrigations, par M. Longpérier.
Submersions fertilisantes, comprenant les travaux de colmatage, limonage, irrigations d'hiver, par M. Nadault de Buffon.

Chemins de fer.

ACCIDENTS. — SIGNAUX.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes publiées dans le journal *le Brevet d'Invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Émile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.

Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
L'Électricité et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Signaux fixes (Pose et manœuvre des) du chemin de fer de Lyon, par M. Marié.
Signaux de chemins de fer à double voie (Études sur les), par M. Ed. Brame.
Signaux optiques et acoustiques à l'Exposition universelle de 1857.

ÉTABLISSEMENT, TRACÉ ET DIVERS.

Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Chemins de fer d'Angleterre (Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration), législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.
Chemin de fer allant au camp de Châlons (Travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement), par M. Vuigner.
Chemin de fer hydraulique, par M. L.-D. Girard.
Chemins de fer à courbes de petits rayons (Système applicable aux), par M. Aubry.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Vitry à Gray, par M. Brière, de Mondétour.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. E. et A. Barrault.
Chemins de fer (La Russie et ses), par M. E. Barrault.
Chemins de fer suisses et les rails-way Claringhouse de Londres, par M. Bergeron.
Chemin de fer du Saint-Gothard, par M. Koller.
Comparaison entre un profil de chemin de fer à inclinaison de 15 millimètres et un profil à inclinaison de 25 millimètres, par M. E. Flachat.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.
Construction de la ligne de Montluçon à Moulins, et de la ligne de Bourges à Montluçon, par M. Nordling.
Construction de la section d'Arvant à Murat, de Murat à Vic-sur-Cer, par M. Nordling.
Construction de la ligne de Montluçon à Limoges, et de l'embranchement d'Aubusson à Fourneaux, par M. Nordling.
Construction des chemins de fer, par M. Émile With.

Documents statistiques sur le chemin de fer de Châteaulin à Landernau, par M. Morandière.
Enquête sur la construction et l'exploitation des chemins de fer.
Études sur les chemins de fer du haut Jura, par M. Lehaître.
Études de la traversée du Simplon entre Gliss-Brigg et Domo-d'Ossola, par M. Lehaître.
Étude critique des divers systèmes proposés pour le passage des Alpes suisses par un chemin de fer, par M. G. Lommel.
Étude comparative du Simplon, Saint-Gothard et Luckmanier, et de la valeur technique et commerciale des voies ferrées projetées par ces passages alpins italo-suisses, par M. G. Lommel.
Études sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Géométrie des courbes et garages des voies de chemins de fer, par M. V. Prou.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Pose de rails pour chemin de fer (Nouveau système de), par M. Bergeron.
Propulseur atmosphérique, par M. Petiet.
Questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer (Consultation sur les):
Rapport sur les chemins de fer suisses.
Rapport sur les chemins de fer neufchâtelois, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport ou compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État belge pour les années 1842, 1844, 1845, 1846, etc., jusqu'à 1864.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer de Hainaut et Flandres.
Rapport sur les chemins de fer de Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur l'application du fer dans les constructions des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapports du conseil d'administration et de l'ingénieur-conseil de la Compagnie anonyme du chemin de fer de Fougères à Vitré.
Résistance dans le passage des courbes de chemin de fer, par M. Vissocq.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traction sur plans inclinés pour chemins de fer, par M. Agudio.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par M. Goschler.
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. D'Adhémar.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. E. Flachat.
Traversée du Simplon, Saint-Gothard et Luckmanier, par M. Barmane.
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.
Traversée des Alpes et la Suisse, et communications du système Fell, par M. Flachat.

GÉNÉRALITÉS.

Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.

Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Annuaire spécial des chemins de fer belges, par M. Loisel.
Budget de chemin de fer (Projet), par M. F. Hubert.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi.
Cahier des charges du chemin de fer Victor-Emmanuel.
Calculs sur la sortie de la vapeur dans les machines locomotives, par M. Janneney.
Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduites de vapeur et de fumée dans les locomotives, par MM. Flachat et Petiet.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Chemins de fer, par M. E. Flachat.
Chemin de fer de Mamers à Saint-Calais (Rapports présentés par le conseil d'administration du), et sur le matériel de la voie et sur le type des stations.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemins de fer à bon marché (Rapport sur les), par M. Bergeron.
Chemins de fer communaux et provinciaux à construire en Italie, par M. Alfred Cottrau.
Chemins de fer vicinaux, départementaux, ou d'intérêt local, par M. La Ruelle.
Chemin de fer d'intérêt local de la Ferté sous-Jouarre à Montmirail (Mémoire sur le), par M. Chauveau des Roches.
Chemin de fer d'intérêt local de Guise à Saint-Quentin (Rapport de la commission chargée des intérêts du), par M. Monnot.
Chemins de fer adoptés en Norvége (Rapport sur les), par M. Phil.
Circulaire adressée aux présidents des conseils généraux des départements, par la Compagnie des chemins de fer à rail central, système Fell, relative à l'application des routes ordinaires existantes à la construction des chemins d'intérêt local.
Consultation sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.
Exploitation des chemins de fer (Améliorations à introduire dans l'), par M. Bordon.
Exploitation des chemins de fer, par M. Jacquin.
Foyer fumivore Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.
L'État et les Compagnies de chemins de fer, de quelques questions de sécurité et d'économie, par M. Vidard.
Moyens financiers (Précis sur les) des chemins de fer de France, par M. Crosnier.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les locomotives, par MM. Meyer.
Position technique, commerciale et financière du Lukmanier, comparée à celle du Saint-Gothard, par M. G. Lommel.
Rachat des chemins de fer par l'État, par M. Poujard'hieu.
Renseignements statistiques sur les chemins de fer français, par M. J. Morandière.
Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Philips.
— (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Philips.
Solution de la question des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Tarif des chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Émile With.

Tarif (Rapport sur la réforme du) des voyageurs en Belgique, par M. Prosper Tourneux.
Trafic probable des chemins de fer d'intérêt local, par M. Michel.

MATÉRIEL ROULANT.

Album contenant les documents sur la machine locomotive à fortes rampes, pouvant passer dans des courbes des plus petits rayons, de M. Thouvenot.
Album des voitures et wagons de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, par M. E. Mayer.
Album photographique du matériel roulant de la grande Compagnie des chemins de fer Russes, par M. Kremer.
Albums du matériel des chemins de fer du Nord de l'Espagne, machines, tenders et wagons, par M. Germon.
Album des dessins relatifs au matériel fixe et roulant de la Compagnie des chemins de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante, par M. Paquin.
Chemins de fer d'Angleterre (Matériel roulant des), par M. Le Chatelier.
Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.
Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.
Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par MM. Couche et Resal.
Économies à réaliser sur les chemins de fer, au point de vue du matériel et de la traction, par M. Vidard.
Embrayage électrique appliqué aux chemins de fer, par M. Gavarret.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît Duportail.
Essieux creux à graissage continu, par M. Evrard.
Frein automoteur (Rapport sur le), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynanométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein Castelvi.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.
Guide du mécanisme constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Locomotion avec adhérence au moyen du rail central, système Agudio.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotives pour forts trains express avec train universel, par M. Vaessen.
Locomotive-tender pour fortes rampes et courbes à petits rayons avec train universel, construite par la Société Saint-Léonard de Liége, par M. Vaessen.
Locomotive articulée à douze roues couplées, par M. Rœchaert.
Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 pour 100, par M. Cernuschi.
Locomotives (Atlas des ouvrages d'art et des) exécutés aux usines du Creuzot, par M. Schneider.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Locomotive électro-magnétique (Nouveau système de), par MM. Bellet et de Rouvre.

Locomotive de montagne, par M. Beugniot.

Locomotives routières, par M. Longpérier.

Locomotives et matériel de transport à l'Exposition universelle de 1867, par M. Taillard.

Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoît Duportail.

Matériel des chemins de fer à l'Exposition universelle de 1867, par MM. L. Flachat, de Goldschmidt, H. Mathieu et J. Morandière.

Matériel roulant de la Compagnie du chemin de fer de l'Est (De l'état général du).

Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.

Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.

Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.

Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.

Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nicklès.

Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.

Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.

Spécimens des locomotives et tenders composant le matériel du chemin de fer de l'Est, par M. Vuillemin.

Théorie de la coulisse, par M. Philips.

Traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire, système Agudio (Rapport à M. le Ministre des travaux publics), par M. Combes.

Voiture à deux étages, par M. Vidard (quatre brochures).

VOIE.

Amoncellements de neige sur les chemins de fer (Moyens de les prévenir), par M. Nordling.

Bagues en fonte applicable à la voie Vignole, par M. Desbrière.

Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.

Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemin de fer, par M. Sambuc.

Considérations sur les serre-rails et tables-rails, par M. Barberot.

Croisements des voies, par M. Le Cler.

Croisements et changements de voie (Études sur les), par M. Richoux.

Écartement (Note sur l') des alimentations sur les chemins de fer, par M. Nordling.

Éclissage, nouveau système, par M. Desbrière.

Entretien et renouvellement des voies ferrées en Angleterre, par M. J. Morandière (Extrait du Bulletin de la Société des anciens Élèves des Écoles impériales d'arts et métiers).

Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.

Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.

Système annexe de tronçons de rebroussement (Note et dessin), par M. Lourdaux.

Voie et matériel de la voie des chemins de fer (Exposé économique de la), à l'Exposition de 1867, par M. E. Flachat.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.
Voies, perfectionnement au système Barberot, serre-rails appliqués sur traverses ordinaires, semelles en fonte remplaçant les traverses, et nouveau serre-joint pouvant s'appliquer sur tous les systèmes.
Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer, par M. Couche.

Chimie industrielle.

Allumettes chimiques (Fabrication des), par M. Peligot.
Analyses chimiques (Dictionnaire des), par MM. Violette et Archambault.
A propos de verres ou les trois solutions du problème de chimie $MO < MO^1 < MO^2$.
Chimie agricole (Guide de), par M. Basset.
Chimie industrielle (Introduction à l'étude de la), par M. Jullien.
Chimie industrielle (Précis de), par M. Payen.
Chimie (Introduction à l'histoire de la), par M. Liebig.
Chimie (Précis élémentaire), par M. Garnier.
Chimie, céramique, géologie, métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Chimiques (Nouvelles manipulations), par M. Violette.
Chimistes français (A propos du rapport de M. Dumas sur les travaux des), par M. Jullien.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédé Legé et Fleury-Perronnet.
Conservation et coloration des bois (Réponse aux experts), par M. Gardissal.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois, par M. Meyer d'Uslar.
Cours de chimie inorganique, d'après la théorie typique de M. Gerhard, par M. A. Daschelet.
Eaux des houillères employées dans les générateurs à vapeur.
Éclairage (Traité de l'), par M. Péclet.
Éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry.
Éclairage par le gaz (Traité de l'), de M. Schilling, traduit de l'allemand par M. Servier.
Écorçage du chêne et la production et la consommation des écorces à tan en France, par M. Perrault.
Fabrication et distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg, traduit de l'anglais, par M. Servier.
Fabrication du gaz à la houille et à l'eau, par M. Faure.
Gaz de Londres (Usines à), par M. Jordan.
Gélatine (Mémoire sur la), par M. de Puymaurin.
Imprégnation des bois, par M. Pontzen.
Lampes servant à l'éclairage au moyen des huiles animales, végétales ou minérales à l'Exposition de 1867, par M. H. Peligot.
Mensuration des corps gazeux et particulièrement du gaz d'éclairage, par M. Ball.
Minium de fer.

Nouvelle méthode pour reconnaître et déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le docteur Bichon.
Planchette photographique (Notice sur la) de M. Chevallier, par M. C. Tronquoy.
Procédés volumériques pour le dosage du zinc et l'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique.
Réservoirs pour emmagasiner les huiles de pétrole, par M. Ckiandi.
Rouges d'aniline (Mémoire sur les), par E. Jacquemin.
Rouges d'aniline, l'azaline et la fuschine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuschine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou applications des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.

Divers.

Album de la fabrique, par M. Berger.
Albums photographiques. Vues de la Grèce, de l'Égypte, de Constantinople et de Venise.
Amélioration de l'abri des troupes en campagne, par M. P. Barbe.
Amphithéâtre en 1865 et 1866 à l'École centrale d'architecture, par M. Émile Tré[illegible]
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Caisse de retraite pour la vieillesse (Rapport sur la), par M. Pereire.
Carnets (Série de dix-sept), dressés par les jeunes élèves de l'École annexe de l'établissement de Graffenstaden.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Considérations générales sur les Alpes centrales, par M. William Huber.
Discours prononcés par M. le général Morin, M. Bertrand et M. Yvon Villarceau, sur la tombe de M. Léon Foucault.
Écoles d'arts et métiers d'Angers (Notice sur les), par M. Guettier.
Écoles impériales d'arts et métiers de Liancourt, Compiègne, Beaupréau, Châlons, Angers et Aix-la-Chapelle, par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Enseignement.
Excursion en Angleterre et en Écosse, par M. Burel.
Expériences faites sur le chemin de fer de Saint-Michel à Suze, par la route impériale (Rapport sur les), par MM. Conte et Guignard, ingénieurs des ponts et chaussées et MM. Rochet et Perrin, ingénieurs des mines.
Expériences de tir à outrance, avec des canons en acier fondu, de M. Frédéric Krupp.
Exploration du Sahara et du continent africain, par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Exposition nationale de Constantinople, par M. Ganneron.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.

Guide du sténographe, par M. Tondeur.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
Histoire de la terre, origines et métamorphoses du globe, par M. Simonin.
Instruction, ce qu'elle est, ce qu'elle devrait être, par M. Baudouin.
Inventeurs (Les) et les inventions, par M. Émile With.
Isthme de Suez (Notice sur l'), par M. Guitter.
La Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec, par MM. Vincent et Prou.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Liberté du travail (La) et les coalitions, par M. Baudouin.
L'Italie économique en 1867.
Marine à vapeur commerciale, par M. E. Flachat.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Navigation à vapeur transocéanienne, par M. Eug. Flachat.
Navires en fer à voiles, par M. Lissignol.
Nettoyage des carènes de navires à vapeur en cours de campagne, par M. A. Denagrouze.
Notice biographique sur Louis-Ezéchias Pouchet, négociant à Rouen.
Notice sur J.-P.-P. d'Arct.
Notice sur l'usine du Creuzot, par M. Simonin.
Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notre-Dame de Brou, par M. Malo.
Observatoire impérial (de la nécessité de transporter l') hors Paris, par M. Yvon Villarceau.
Organisation de l'enseignement industriel, par M. Guettier.
Pays (Les) lointains, notes de voyages, par M. Simonin.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Propagation des connaissances industrielles, par M. Guettier.
Production et le commerce des sucres (Notice sur la), par M. de Dion.
Rapport sur le matériel et les procédés de la couture, confection de vêtements à l'Exposition universelle de 1867, par M. d'Aligny.
Rapport sur le matériel et l'outillage mécanique de la tannerie et de la mégisserie à l'Exposition universelle de 1867, par M. Perrault.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Relazione sull' applicabilità del sistema Fell al passaggio delle Alpi Elvetiche con una ferrovia a forti pendenze.
Réponses aux questions posées par MM. les délégués, par M. Ferdinand de Lesseps.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Tableau physique du Sahara oriental de la province de Constantine, par M. Ch. Martins.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.
Visite à l'Exposition universelle de 1867, par M. Léon Malo.

Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleey.

Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.

Carte hydrologique du département de la Seine, par M. Delesse.

Comparaison des déterminations astronomiques faites par l'Observatoire impérial de Paris, avec les positions et les azimuts géodésiques, publiés par le dépôt de la guerre, par M. Yvon Villarceau.

Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophyte, par M. Ebray.

Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins, par M. Delesse.

Distribution de la pluie en France, par M. Delesse.

Effet des attractions locales sur les longitudes et les azimuts; application d'un nouveau théorème à l'étude de la figure de la terre, par M. Yvon Villarceau.

Étude géologique de l'Isthme de Suez, par M. E. Tissot.

Études géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Études géologiques sur le Jura neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.

Études géologiques, brochures diverses, par M. E. Ebray.

Étude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et de Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.

Géologie de l'Égypte, d'après les travaux les plus récents, notamment ceux de M. Figari-Bey et le canal maritime de Suez, par M. Cazalis de Fondouce.

Géologie du Pérou, par M. Crosnier.

Géologie du Chili, par M. Crosnier.

Géologie et ressources minérales de la nouvelle Calédonie, par M. Garnier.

Géologique (Notice) sur le plateau de Thostes et sur les mines de fer, par M A. Errard.

L'Étrurie et les Étrusques, par M. Simonin.

Nivellement général de la France, par M. Bourdaloue.

Nouvelle détermination d'un azimut fondamental pour l'orientation générale de la carte de France, par M. Yvon Villarceau.

Produits souterrains à l'Exposition universelle de 1867, par M. Simonin.

Propriété du lit des cours d'eau naturels, fleuves et rivières navigables, flottables et non, et ruisseaux, par M. Brabant.

Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne, par M. Ch. Laurent.

Revue de géologie pour les années 1863 à 1867, par MM. Delesse et Laugel.

Machines à vapeur.

Album des machines, outils et appareils construits dans les ateliers de M. Frey fils.

Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.

Chaudière à vapeur (Rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur le concours ouvert par elle sur la meilleure), par M. Dubied.

Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Or-
tolan.

Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.

Condenseurs par surfaces, et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur, par M. Sébillot.

Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.

Emploi de la houille dans les locomotives, et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.

Essais officiels de la frégate cuirassée *la Numancia* (Note sur les), par M. F. Bourdon.

Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.

Foyer fumivore, par M. de Fontenay.

Foyer fumivore de M. Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).

Guide du mécanicien conducteur de locomotives, par MM. Flachat et Petiet.

Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.

Incrustations salines (Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des), par M. Guinon.

Injecteur Giffard (Notice théorique et pratique sur l').

Labourage à la vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pepin Lehalleur.

Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.

Locomotives. (Voir *Matériel roulant.*)

Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.

Machines à disques, par M. Rennie.

Machines de Marly, par M. Charles Priès.

Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.

Machine avec générateur à combustion comprimée par M. Pascal (Rapport sur la), par M. Colladon.

Machine à gaz, par M. Gérondeau.

Machine à vapeur surchauffée de M. Hirn.

Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.

Mouvement du tiroir (Notice sur les méthodes graphiques usitées pour étudier le), par M. Vidal.

Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.

Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.

Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.

Steam Boiler. Explosions.

Théorie de la coulisse, par M. Phillips.

Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, par M. Armengaud aîné.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.

Transports des marchandises sur les canaux au moyen de la vapeur, par M. Dubied.

Tubes mobiles du système Langlois pour chaudières à vapeur et machines-marines fixes. Locomotives et locomobiles.

Types divers de générateurs, par M. Belleville.

Mathématiques et Sciences diverses.

Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Flexion des prismes, par M. Vidal.
Géométrie descriptive (Éléments de), par M. Babinet.
Instruments de mathématiques à l'Exposition universelle de 1867, par M. Grateau.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Tachéométrie (Guide pratique de), par M. Joseph Porro.
Topographie et géodésie (Cours de), par M. Benoît.
Traité de cinématique, par M. Bélanger.
Traité de la dynamique d'un point matériel, par M. Bélanger.

Mécanique.

Air comprimé (Notice historique sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareil aérohydrostatique de M. Seiler.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres; suivi de la Construction de la vis d'Archimède, par M. Benoît Duportail.
Détermination du volant et du régulateur à boules ramenant la vitesse de régime, par M. Charbonnier.
Dyname (Le), par M. Boudsot.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Machine à voter de M. Gallaud (Rapport sur la), par M. Molinos.
Machines-outils, par M. Chrétien.
Machine à percer, couper et abattre les roches, par MM. Jatal et Garnier.
Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.
Montage et la manœuvre du métier à tisser (Note sur le), par M. Burel.
Moteur à pression d'eau (Recherches théoriques et expérimentales sur le) de M. Perret, par M. Ordinaire de Lacolonge.
Moteurs hydrauliques (Traité théorique et pratique des), par M. Armengaud.
Organes de machines (Collection d'). Cours de M. Lecœuvre.
Perforation mécanique des roches par le diamant, par M. de Lacolonge.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.
Théorie et description des régulateurs marins, isochrones à bras et à bielles croisés, à deux centres d'oscillation, de MM. Farcot, par M. Hirn.
Traité complet de la filature de coton, par M. Alcan.
Traité du travail des laines, par M. Alcan.

Transmission à grandes vitesses. Pàliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoît Duportail.
Travaux de vacances des élèves de l'École centrale (Albums des).
Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.

Métallurgie. — Combustibles.

Aciération (Recherches sur l'), par M. Jullien.
Acier (Fabrication de l'), par M. Gruner.
Affinités capillaires et les phénomènes de la trempe mis en présence, par M. Jullien.
Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.
Album du cours de métallurgie professé par M. Jordan à l'École impériale centrale des arts et manufactures en 1864-65.
Album de la Compagnie des hauts-fourneaux et fonderies de Givors.
Album de la Société Boignes, Rambourg et Cᵉ, hauts-fourneaux, fonderies et forges de Fourchambault, Torteron, Montluçon et la Pique.
Album des Types de rails en acier et croisements de voie en acier fondu, coulé, exécuté par MM. Petin, Gaudet et Cᵉ.
Album des fonderies de MM. Haldy, Rœchling et Cᵉ.
Album de la maison Durenne, maître de forges (pièces exécutées dans son usine à Sommeroire (Haute-Marne).
Aluminium dans la métallurgie (Importance de l'), par M. Tissier.
Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Cités ouvrières de houilleurs dans les mines du centre français (Rapport sur les), par M. Simonin.
Chimie. Céramique, géologie et métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Comparaison expérimentale et théorique des aciers provenant de la décarburation des fontes, par M. Galy-Cazalat.
Coulées de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Cuivre, son histoire, ses usages (État présent, méthodes et procédés de traitement du), par M. Petitgand.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. H. Fournel.
Emploi des fers, par M. Schwaeblé.
Essai des chaînes-câbles.
Étude sur l'état actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), par M. Jordan.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication de l'acier en Angleterre, par M. Grateau.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fabrication des fontes d'hématite, par M. Jordan.
Fabrication du fer et de la fonte (Documents concernant le haut-fourneau pour la), par M. Fiévet.
Fers spéciaux (Albums des) de la Société des forges et fonderies de Montataire.
Id. id. des usines du Creusot.
Id. id. de MM. Karcher et Westermann, maîtres de forges.
Id. id. de MM. Lasson, Salmon et Cⁱᵉ, maîtres de forges.

Fers spéciaux (Albums des) des usines et forges de Châtillon et Commentry.
Id. id. de la Société *la Providence*.
Id. id. de MM. Dupont et Dreyfus, maîtres de forges.
Id. id. et fontes moulées de la Société anonyme des hauts-fourneaux de Maubeuge.
Fers spéciaux (Différents types des), des forges de Manois (Haute-Marne).
Fers spéciaux (Différents types des), des forges de la maison Harel et Cie, à Pont-l'Évêque.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fonte Gruson avec album.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Métallurgie pratique, par M. D.
Métallurgie (Traité complet), par le docteur Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna.
Métallurgie du fer et carbonisation du bois, par M. Gillet.
Métaux bruts à l'Exposition universelle de 1867, par M. Dufréné.
Nouveaux procédés ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente et brillante d'autres métaux, par M. Weil.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Richesse minérale de la France (Notice sur la), par M. Simonin.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et A. Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Julien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.
Usine de Spreuk bank foundry (Note par M. Gaget).
Utilisation des scories de forges, procédé de MM. Minary et Soudry.

Mines. — Carrières.

Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines, par M. Amable Cavé.
Aperçu du travail des hauts-fourneaux dans quelques États de l'Amérique du Sud, par M. Henri Fournel.
Avenir de l'exploitation des mines métalliques en France, par M. Petitgand.
Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.
Carbures de fer. En général les fers impurs sont des dissolutions, par M. E.-C. Jullien.
Canaux souterrains et houillers de Worsley, près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.
Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Exploitation des mines (Expériences faites en Autriche en 1867 sur les machines et l').
Extraction (l') et le roulage à l'Exposition universelle de 1867 (Exploitation des mines), par M. Évrard (Alfred).

Fusées de sûreté (de MM. Chenu et Ce), par M. Le Chatelier.
Houillère d'Epinac, par M. Simonin.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.
Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat Amédée.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Minerais de fer à l'Exposition universelle de 1867, par M. Grateau.
Minerais d'étain exploités à la Villède, par M. Guettier.
Minéralogie appliquée, par M. A. Burat.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.
Mines du Creusot, d'Épinac et des houillères du canal du Centre, par M. Simonin.
Mines de houille de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand'Combe (Rapports sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.
Mines de houille d'Aniche (Notice sur les), par M. E. Vuillemin.
Mines (Observations générales sur l'état du travail des) à l'Exposition universelle de 1867, par M. Petitgand.
Mineur (Le) en Californie, par M. Simonin.
Pression et la température de l'air dans l'intérieur de quelques mines (Observations sur la), par M. Simonin.
Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Vie souterraine ou les mines et les mineurs, par M. Simonin.

Ouvrages périodiques.

Aéronaute. Bulletin international de la navigation aérienne.
Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales industrielles.
Annales de l'Agriculture, par M. Oppermann.
Annales de la Construction, par M. Oppermann.
Annales télégraphiques.
Annales des constructeurs des ponts et chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales du Conservatoire.
Annuaire de l'année 1866 de la conférence des Chemins de fer belges.
Annuaires de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liége.

Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1865.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers.*
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des Deux-Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletins du comité des Forges.
Bulletin mensuel de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École centrale des arts et manufactures.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins de la Société industrielle de Reims.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletin de la Société des arts et métiers de Vienne.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Étienne.
Bulletins de la Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre.
Bulletins de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.
Bulletin de la Société de géographie.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées.
Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences.
Compte rendu annuel de l'Association amicale des Élèves de l'École des mines de Paris.
Éclairage au gaz (Journal de l').
Études sur l'Exposition universelle de 1867.
Journal *Engineering.*
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal des Chemins de fer.
Journal d'Agriculture pratique.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Journal *le Moniteur universel.*
L'Isthme de Suez (Journal).
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences, par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture.
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Propagateur des travaux en fer.
Propagation industrielle (La).
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Report of the commissioner of patents des années 1859, 1860, 1861 et 1862.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des mines et de la métallurgie (publiée à Liége).

Revue de l'Exposition universelle de 1867, par M. Noblet.
Revue des Deux-Mondes.
Revue contemporaine.
Revista de obras publicas.
Revue horticole.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
Semaine financière (Journal *la*).
The Engineer (Journal).

Physique Industrielle.

Air comprimé (Notice sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils d'éclairage (Album des), de M. Masson.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel.
Assainissement de la savonnerie Ariot, par M. Félix Foucou.
Calorifère à eau chaude et à petits tuyaux, par MM. Gallibour et Gaudillot.
Calorique latent (Procédé élémentaire), par M. Jullien.
Causes et effets de la chaleur, de la lumière et de l'électricité, par M. Seguin aîné.
Combustion de la fumée, par M. Petitpierre-Pellion.
Combustion du charbon (Considérations chimiques et pratiques), par M. Williams.
Écoulement des gaz en longues conduites (Compte rendu d'expériences sur l'), par M. Arson.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. E. Witb.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, par M. Love.
Étude sur les combustibles employés en industrie, et de la tourbe, par M. Challeton.
Études sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Fourneaux fumivores. Historique; état actuel de la question, par M. Wolski.
Foyer fumivore de M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck.
Gyroscope de M. Foucault (Théorie du), par M. Yvon Villarceau.
Microscope (Construction et emploi du), par M. Ch. Chevalier.
Photographe (Guide du), par M. Ch. Chevalier.
Photographiques (Appareils), par M. Ch. Brooke.
Propagation de l'électricité (Note sur la), par M. Blavier.
Science populaire, par M. Rambosson.
Sciences physiques (Éléments des) appliquées à l'agriculture, par M. Poureau.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Télégraphe électrique, par M. Miége.
Télégraphe (Ligne de), par M. Verord.
Télégraphe électro-chimique à transmission automatique, par MM. Varin et Fribourg.

Télégraphique continentale (Projet d'une ligne) entre l'Europe et l'Asie, par M. Jousselin.
Transports pneumatiques, par M. Léon Malo.
Usines à gaz de Londres, par M. Jordan.
Ventilation (Étude sur la), par M. le général Morin.

Publications étrangères.

Bulletin de la Société des Ingénieurs d'Écosse.
Bulletins de la Société des arts et métiers de Vienne.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1865.
Bulletins de l'Institution of Mechanical Engineers.
Bulletins de la Société des Ingénieurs de Pesth.
Bulletins de la Société des Architectes et Ingénieurs du royaume de Hanovre.
Cahier des charges pour la construction d'un tronçon pour la ligne de Foggia à Naples, par M. A. Cottrau.
Canal Cavour, Italian, irrigation, canal Company.
Canali nella citta di Milano, par M. Bignami.
Catalogue de la librairie de la Société des Ingénieurs civils de Londres.
Circular Exhibit of the nautilus Dering Bell.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Détermination graphique des moments de flexion des poutres de faible longueur, par M. Vojacek.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.
Emploi du planimètre pour la recherche des quantités nécessaires aux calculs de résistance, par M. Vojacek.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Engineering (Journal).
Exhaussement des rails dans les courbes, par M. Vojacek.
Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.
Fabrication de l'acier par le procédé Bessemer, par M. Kohn.
Il Bosforo de Suez, relazione dell'avv. Guglielmo Rava, delegato della camera di commercio ed arti Caltanissetta preceduta della deliberazione della stessa camera, e seguita della riposta del cav. Guglielmo Luigi Lauzirotti presidente della camera medicina.
Il canal attraverso l'istmo di Suez, par M. Kramer.
List of Prices of the Padiving apparatus of Rouquayrol and Denayrouze.
Magyar Mémôk-Egyesület Kozlouye.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.
Mouvement ondulatoire de la mer et spécialement des courants sur certains points du littoral, par M. Cialdi.
Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.
Projet de loi sur les chemins de fer économiques, départementaux et vicinaux en Italie, par M. Alfred Cottrau.
Rapport de 1854. Patent office.

Rapport du Conseil d'administration de la Société italienne du chemin de fer méridional.

Rapport sur l'application du fer dans les constructions de chemins de fer, par M. Hodgkinson.

Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer, par M. Hodgkinson.

Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.

Relazione sulla applicabilità del sistema Fill al passaggio dell Alpi Elvetiche con una ferrovia a forti pendenze.

Report of the commissioner of patent des années 1859, 1860, 1861 et 1862.

Résistance des rails en fer à différentes températures, par M. Sandberg.

Revista de obras publicas.

Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.

Steam Boiler. Explosions.

The Engineer (Journal).

Transactions de la Société des Ingénieurs civils de Londres. Session de 1862 à 1864.

Upon the River waimakariri and the Lowers plains of Cantersbury, New-zealand.

Usine de Spreuk bank foundry (Note par M. Gaget).

Recueil de Formules.

Aide-mémoire des ingénieurs, par M. T. Richard.

Annuaire scientifique et industriel, par M. Trevillini.

Carnet à l'usage des agriculteurs, par M. Ganneron.

Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.

Formules ordinaires employées pour calculer la résistance des ponts métallurgiques.

Guide pratique des alliages métalliques, par M. Guettier.

Guide commercial des constructeurs mécaniciens, des fabricants et des chefs d'industrie, par M. Coré.

Instructions pratiques à l'usage des ingénieurs, par M. Armengaud aîné.

L'Ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.

Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.

Manuel du conducteur et de l'agent-voyer, par M. Vauthier.

Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Émile With.

Manuel du service de la 2e section de navigation de la Marne, par M. Lalanne.

Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.

Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.

Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.

Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.

Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements, par M. Eugène Péreire.

Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.

Tables des coefficients, par M. Lefrançois.

Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.

Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.

Statistique et Législation.

Abolition des douanes.
Actes constitutifs de la Compagnie du canal maritime de Suez.
Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.
Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Études sur les lois actuelles), par M. Damourette.
Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Émile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations française et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Code des chemins de fer, par M. Cerclet.
Colonies agricoles (Études sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).
Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec les colonies et les puissances étrangères.
Droit des inventeurs, par M. E. Barrault.
Droits (Des) des inventeurs en France et à l'étranger, par M. Dufrené.
École centrale d'architecture, par M. Émile Trélat.
École des mines de Paris, histoire, organisation, enseignements, élèves-ingénieurs et élèves externes, par M. Grateau.
Enseignement technique (Rapport sur l'), par M. le général Morin.
Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.
Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.
Étude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.
Influence et avenir des Sociétés industrielles, par M. Alcan.
Institutions privées du Haut-Rhin (Mémoire sur les), par M. Penot.
Législation des machines à vapeur, par M. V. Vidal.
Législation des mines (Recueil de), contenant la Loi espagnole du 6 juillet 1859, la Loi italienne du 20 novembre 1859 et la Loi prussienne du 24 juin 1865, par M. Vinchent.
Liberté et le courtage des marchandises, par V. Émion.
Loi des États-Unis sur les inventions, par M. Émile Barrault.
Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. C. Callon et Laurens.

Organisation de l'École polytechnique et pour les ponts et chaussées, par M. Vallée.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.
Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observations présentées à l'assemblée générale du Franco-Suisse par un actionnaire, par M. Dubied.
Observation sur le recrutement du corps des ponts et chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rapport de la commission chargée d'étudier l'organisation de l'enseignement technique en France.
Rapport sur les patentes des États-Unis, par le major Poussin.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Réduction du tarif des voyageurs des chemins de fer, par M. Vériot.
Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchent.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique industrielle, publiée par la Chambre de commerce de Paris.
Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Allemagne, de la Suisse, de la France, de la Belgique, des Pays-Bas, et de la Russie, en exploitation, par M. Hauchecorne.
Tablettes de l'inventeur et du breveté, par M. Ch. Thirion.

Technologie.

Alliage des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.
Annuaire scientifique, par M. Schwaeblé.
Arts textiles à l'Exposition universelle de 1867, par M. Michel Alcan.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Céramiques (Rapport sur les arts) fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Conseiller du débitant, par M. du Liége.
Décoration et fabrication de la porcelaine en Chine (Rapport sur la composition des matières employées dans la), par MM. Ebelmen et Salvetat.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.
Gréement, par M. Bréart.
Guide pratique de la fabrication du papier et du carton, par M. Prouteaux.
Guide pratique de la meunerie et de la boulangerie, par M. Marmay.
Guide du bijoutier, par M. Moreau.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
La science populaire, par M. Rambosson.
Matières textiles, par M. Alcan.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Nouveau Cosmos, par M. Dubois.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.

Rapport sur l'ouvrage de M. Alcan (Études sur les améliorations du matériel des arts textiles à l'Exposition universelle de 1867), par M. Pariset.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Rapport ou compte rendu de l'Exposition de Londres de 1851, par M. Lorentz.
Rapport de 1854. Patent office.
Revue rétrospective des soieries à l'Exposition universelle de 1867, par M. Pariset.
Théorie et pratique de l'art de l'ingénieur, du constructeur de machines et de l'entrepreneur de travaux publics, par MM. Vigreux et Raux.
Traité pratique de la boulangerie, par M. Roland.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des nations (Exposition universelle de 1855).

Travaux publics.

Cathédrale de Bayeux, reprise en sous-œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.
Construction (Cours de), par M. Demanet.
Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Construction du Palais de l'Exposition universelle de 1867, par M. Krantz.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Docks à Marseille (Projet de), par M. Flachat.
Docks-entrepôts de la Villette, par M. E. Vuigner.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Enseignement des beaux-arts, par M. E. Trélat.
Études architecturales à Londres en 1862, par M. Émile Trélat.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Exposition universelle de 1867 (Avant-projet relatif à l'), par M. A. Barrault.
Extension des travaux publics en Espagne.
L'Opéra et le théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.
Notice sur Saint-Nazaire, par M. G. Love.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Palais permanent pour l'Exposition universelle de 1867 (Note sur un), par M. Baudemoulin.

Reconstruction de l'Hôtel-Dieu (Critique sur la), par M. Ulysse Trélat.
Vade-mecum administratif de l'Entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endrès.

DISTRIBUTION D'EAU.

Alimentation d'eau de la ville de Soissons, par les sources de la montagne Sainte-Geneviève (Projet d'), par M. Bonnataire.
Alimentation en eau de la Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Assainissement de Paris, par M. Baudemoulin.
Dérivation de la Somme, Soude et du Morin, par M. Dugué.
Distributions d'eau, par M. Aristide Dumont.
Documents sur les eaux de Paris.
Eaux de Seine de Saint-Cloud, amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Eaux de Paris (Les), par MM. Sébillot et Mauguin.
Eaux de Paris (Notice sur les), par M. Ch. Laurent.
Eaux de la ville de Liége (Rapport sur les), par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Égouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par Vereluys.
Inondations souterraines de la ville de Paris, par Vaunier.
Inondation souterraine (Rapport sur l') qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.
Inondations des maisons en 1856 (Rapport sur les), par M. Fourneyron.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Albums des types des fers Zores.
Album des fers spéciaux de la Société des hauts-fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.
Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.
Art du briquetier (L'), par M. Challeton.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons agglomérés (Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des) à base de chaux, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle (Rapport sur les), par M. Delesse.
Mortiers (Traité sur l'art de faire de bons), par M. Rancourt.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Travaux publics (Notice sur les) de l'Exposition universelle de 1867.

OUTILLAGE.

Appareil plongeur Rouquayrol-Denayrouze, par M. A. Denayrouze.
Appareils de levage et manutention à l'Exposition universelle de 1867, par M. Hangard.

Appareil de plongeur, le Scaphandre, par M. Cabirol.
Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.
Brouette (Notice sur la), par M. Andraud.
Niveau parallèle, ou description d'un niveau à bulle d'air simplifié et perfectionné, par M. Simon.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

PONTS, VIADUCS ET SOUTERRAINS.

Album des dessins d'exécution et des métrés de 36 ponts métalliques des chemins de fer méridionaux italiens, par M. Cottrau.
Album photographique du pont-viaduc sur la Seine au Point-du-Jour (chemin de fer de ceinture).
Application de la tôle à la construction des ponts de chemins de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon Villarceau.
Bac à vapeur à Reinhausen, par M. Hartwich.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges, par M. Albaret.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice sur la), par M. Toni Fontenay.
Construction des planchers et poutres en fer, par M. G. Joly.
Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Toni Fontenay.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, par M. Gaettier.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry et Cadiat.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin, par M. Maréchal.
Équilibre des voûtes (Examen théorique et critique des principales théories sur l'), par M. Poncelet.
Étude comparative de divers systèmes de ponts en fer, par M. Jules Godard.
Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes à plein cintre, anse de panier et arcs de cercle, par M. Marguet.
Mémoire de M. Fortin-Herrmann sur les fondations tubulaires.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, par M. Hérard.
Piles en charpente métallique des grands viaducs, par M. Nordling.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Pont de Coblentz, par M. Hartwich.
Ponts en fer, par M. Hartwich.

Ponts en bois (Types de), par M. Fressel.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-George, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts reposant sur plus de deux appuis (Étude des), par M. Albaret.
Ponts suspendus (Mémoire sur les), par M. Brissaud.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. E. Vuigner.
Pont de Castelfranc, système Cadiat et Oudry (Notice sur le).
Poutre à treillis (Étude sur la détermination du rapport existant entre les sections dangereuses des semelles et des barres inclinées à 45 degrés d'une), par M. Prou.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport de la 23e section, chargée d'étudier le matériel et les procédés du génie civil des travaux publics et de l'architecture à l'Exposition universelle de 1867.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Recherches sur les dispositions à adopter dans l'établissement des ponts suspendus, par M. Brissaud.
Stabilité des ouvrages d'art destinés à porter de grands remblais, par M. Bernard.
Théorie élémentaire sur la construction des ponts, par M. Ritter.
Théorie pratique et architecture des ponts, par M. Brunell.
Traversée des Alpes, percement du mont Cenis, par M. Sommeiller.
Viaduc de Busseau-d'Ahun (Photographie du), par M. Nordling.
Viaducs métalliques (Rapport sur le projet de), sur la ligne de Commentry à Gannat, par M. Nordling.

PORTS MARITIMES. CANAUX.

Canal Cavour. Halian, irrigation, canal Company.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez (Question du tracé du), par MM. Alexis et Émile Barrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Canal maritime de Dieppe à Paris, par MM. Aristide Dumont et Louis Richard.
Chemins de halage et berges des canaux d'Angleterre et d'Écosse, par M. V. Vuigner.
Études sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F. N. Mellet.
Études sur la navigation, par M. Bounican.
Il canal attraverso l'istmo di Suez, par M. Kramer.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme du Darien (Rapport sur le), par M. Lucien de Perydt.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question du), par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet d'un canal maritime entre Paris et la mer, par MM. A. Dumont et Richard.
Projet du port Saint-Nazaire (Notice sur le), par M. G. Love.

Procédés employés pour racheter les chutes sur les canaux de navigation, naturels ou artificiels, par M. E. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer, établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport de M. Ferdinand de Lesseps, au nom du Conseil d'administration de la Compagnie du canal maritime de Suez.
Suppression du canal Saint-Martin, et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Traction des bateaux sur les canaux, par M. Bouquié.
Traction des bateaux, fondée sur le principe de l'adhérence, par M. Beau de Rochas.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gossenet.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Transit des navires au canal de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (Avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.
Turin port de mer, par M. Capuccio.
Voies navigables en Belgique, par M. Vilquain.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX.

Épreuves des arcs métalliques de la galerie des machines à l'Exposition universelle de 1867, par M. Eiffel.
Études sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Expériences des piliers en fonte, par M Hodgkinson.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des matériaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love..
Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.
Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.
Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.
Résistance des matériaux, par M. le général Morin.
Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.
Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

ROUTES.

Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Chemins vicinaux, par M. M. Volland.
Constructions des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.

Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais de chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.

Sondages.— Puits artésiens.

Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondage (Rapport sur les travaux de) à l'Exposition universelle de 1867, par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

Accident occasionné par le vent sur le chemin de fer du Midi, par M. Nordling (séance du 6 mars). 92
Allumettes chimiques (industrie des), note par M. H. Peligot 105
Anti-incrustateur magnétique, par M. Ball (séance du 7 février). 74
Appareils à produire le froid (note sur les), par M. Rouart 190
Asphalte coulé sur les planchers des magasins et greniers de la Compagnie générale des Omnibus, par MM. (Eugène) Flachat et Noisette (séance du 5 juin). . . . . 295 et 362
Aviation, par M. Pichault (séance du 5 juin) 294
Blés (conservation des), par M. François Coignet et Rouyer (séances des 21 février, 6 mars, 3 avril, 1er mai et 3 juillet). . . . . . . 89, 92, 239, 263 et 415
Boussoles des navires en fer (causes de désordre auxquelles sont soumises les), par M. Arson (séance du 21 août). 436
Calcul des moments de flexion maxima dans les ponts droits, par MM. Albaret Dallot, De Dion, Molinos et Renaudot (séances des 20 mars, 3 et 17 avril, et 1er mai). 98, 240, 256, 263 et 264
Canal de Suez (avancement des travaux). Séances des 21 février, 5 juin, 3 juillet, 4 septembre, communication de M. Lavalley. . 83, 294, 423, 449 et 593
Catalogue des ouvrages composant la bibliothèque 716
Chaudières à vapeur système Barret, par M. Maldant (séance du 19 juin). . . 303
Chaudières Field, par M. Ball (séance du 7 février) 75
Chemins de fer d'intérêt local, par MM. Richard, Molinos, Mathieu (Henri) Norling, Regnard, Ivan Flachat, Leloup et Delonchant (séances des 20 mars, 3 et 17 avril, 1er et 15 mai, 5 et 19 juin, 3 juillet et 4 décembre). 101, 128, 146, 156, 165, 206, 239, 256, 262, 276, 297, 306 et 573
Chemins de fer norvégiens, par MM. Gottschalk et Sandberg (séance du 5 juin). 297
Chemins de fer industriels de Champs-Clauzon, Portes et Petite-Rosselle, par M. Jules Morandière (séance du 17 juillet). 423
Chemin de fer d'Arvant à Murat (statistique de la construction), par M. Nordling (séance du 17 juillet). 434
Compteurs secs et humides pour le gaz, par M. Ball (séance des 21 août et 4 septembre). . . . . 442 et 444
Conduite et élagage des arbres forestiers (note sur la méthode de), par M. Rouyer. 345
Contre-vapeur (emploi de la), note par M. Desmousseaux de Givré. 464
Décès : MM. le général Poncelet, Léon Foucault, de Planhol, Evans, Fouju, Calard, Laumond (séances des 10 janvier, 21 février, 21 août et 18 septembre) . . . . 39, 83, 436 et 450

Décorations : *Légion d'honneur*. Grand'croix, M. Schneider. Officiers : MM. Castor et Lavalley. Chevaliers : MM. Delaunay, Petitgand, Pouel et Ser (séance du 21 août). 436
Ordre de Léopold de Belgique. Chevaliers : MM. Andry et Orsatti (séances des 21 février et 15 mai). 83 276
Ordre du Christ de Portugal. Commandeur : } M. Bevan de Massy.
Ordre d'Isabelle la Catholique. Commandeur : } (séance du 20 mars) 98
Ordre de Charles III d'Espagne. Chevalier : M. Marco Martinez (séance du 5 juin). 294
Ordre de la Rose du Brésil. Officier : M. Banderali. Chevaliers : MM. Husquin de Rhéville et Néri (séances des 21 août et 6 novembre) . . . . . . 436 et 551
Distribution sans excentrique à parallélogramme et à coulisse droite (note sur une), par M. Deprez 459
Éclissage des rails de chemins de fer, système Tudor, par M. Bobin (séance du 4 décembre). 571
Élections des membres du Bureau et du Comité (séance du 18 décembre). . . . 591
Expériences de traction faites à la Compagnie d'Orléans (note sur les), par M. Forquenot 309
Générateurs inexplosibles, par M. Belleville (séances des 24 janvier et 7 février) . . . . 67 et 81
Installation des nouveaux membres du bureau et du comité (séance du 10 janvier). Discours de MM. Flachat et Love 38
Liste générale des Sociétaires 12
Locomotives-tenders, et appareils divers de traction à l'Exposition universelle de 1867. Rapport de la 21me section (M. Bonnet Auguste secrétaire) (séances des 4 et 18 septembre) . . . . 449, 450 et 652
Locomotive à rail central, par M. de Landsée (séance du 30 novembre). . . . 567
Machine à ammoniaque (note sur une), par M. Frot. 170
Machines marines (conditions de travail et utilisation des), par MM. Normand et Mallet (séances des 16 octobre, 6 novembre et 4 décembre). 546, 552 et 577
Machine à perforer les roches du capitaine Penrice, par M. Fellot (séances des 5 et 19 juin, et 3 juillet) . . . . 214, 295, 302 et 416
Matériel fixe des chemins de fer (note sur le) à propos de l'Exposition univer-universelle, par M. Rances. 371
Matériel roulant (voitures et wagons) à l'Exposition universelle de 1867. Rapport de la 20me section (M. Jules Morandière, secrétaire) (séance des 17 juillet et 4 septembre. . . . . 423, 444 et 625
Médaille d'or décernée à MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné (prix fondé par M. Perdonnet, sur la résistance des trains et la puissance des machines locomotives (séance du 17 avril) 256
Médaille d'or décernée à M. Le Cler (Achille), pour son Mémoire sur l'endiguement et la mise en culture des polders de la vallée de Bourgneuf (séance du 19 juin) 301
Mines et de la métallurgie (notice sur les produits de l'exploitation des) de la section russe à l'Exposition universelle, par M. Grand. 507
Mines d'or et d'argent de la Nevada et du Colorado, par M. Simonin (séance du 6 mars). 95

Navires (doublage en zinc des), par M. Lissignol (séance du 1er mai) 268
Nécrologie sur Anatole de Planhol, par M. Richard. 231
Oxygène (production économique de l'), par M. Maldant (séance du 17 juillet). 125
Papier (fabrication du), par M. Ch. Martin (séance du 21 février) 83
Produits à base d'ardoise comprimés (note sur les), par M. Nozo. 454
Rails (fabrication des) à lits aciérés et rails en acier Bessemer, par M. Sandberg (séance du 3 juillet) 419
Résumé du 1er trimestre 1
Résumé du 2e trimestre 233
Résumé du 3e trimestre 409
Résumé du 4e trimestre 537
Sommering (Exploitation du) et du Brenner, par M. Gottschalk (séances des 15 mai et 4 septembre) . . . . 276, 446 et 477
Signaux de chemins de fer employés en Angleterre pour les bifurcations et les grandes gares par M. Georges Tardieu (séances des 2 et 16 octobre, et 6 novembre) . . . . 467, 514, 545 et 551
Situation financière de la Société (séances des 19 juin et 18 décembre). 300 et 590
Table des matières. . . . .
Traction par les moteurs autres que les animaux sur les routes ordinaires, par M. Burel (séance du 17 juillet) 421
Ventilation par l'air comprimé, par M. Piarron de Mondesir, ingénieur des ponts et chaussées (séance du 2 octobre) . . . . 491 et 514
Voûtes (Théorie des) de M. Yvon Villarceau, par M. Goschler (séance du 6 novembre) . . . . 533 et 551

Paris. — Typ. de P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

